

17-1336
8

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

VIII

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ НАУК
КОМИССИЯ ПО НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ И КИНЕМАТОГРАФИИ

УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Том VIII

ЦВЕТНАЯ ФОТОГРАФИЯ И КИНЕМАТОГРАФИЯ,
ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ СЕНСИТОМЕТРИЯ

Учен.-корр. АН СССР А. В. Удовин, проф. Ю. Н. Тарасов
(отв. редактор), проф. А. В. Лебедев, проф. В. С. Давыдов
проф. А. В. Физберг, канд. техн. наук А. В. Удальцов
и др.



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва · 1962 · Ленинград

208914

Восьмой том «Успехов научной фотографии» включает в себя труды двух научных совещаний, проводившихся Комиссией по научной фотографии и кинематографии Академии наук СССР в 1959 г.: 1) совещания по основным проблемам теории и технологии цветофотографических процессов (XI Всесоюзного совещания по научной фотографии), организованного Комиссией совместно со Всесоюзным научно-исследовательским кинофотоинститутом и фабрикой киноплёнки Харьковского СНХ, и состоявшегося в г. Шостке 29 мая—1 июня 1959 г., и 2) научной дискуссии по сенситометрии черно-белых и цветных фотографических материалов, состоявшейся в г. Ленинграде 21—23 апреля 1959 г.

Представленные для напечатания доклады разделены в томе на четыре группы. Первые три — изготовление и химико-фотографическая обработка многослойных цветных материалов, гидротипия и, наконец, теория фотографического цветовоспроизведения — охватывают доклады на XI Всесоюзном совещании по научной фотографии. Четвертая группа — методы сенситометрии и сенситометрическая аппаратура — охватывает доклады на сенситометрической дискуссии в Ленинграде, а также три доклада по сенситометрии цветофотографических процессов, прочитанные на совещании в Шостке (доклад Г. С. Баранова, Э. Д. Каценеленбогена, Е. И. Ключенковой и Л. К. Крупенина и доклады В. М. Бахвалова и А. Н. Успенского).

Редакционная коллегия:

член-корр. АН СССР К. В. Чибисов, проф. Ю. Н. Гороховский (отв. редактор), проф. Е. М. Голдовский, проф. К. С. Ляликов, проф. Г. П. Фаерман, канд. хим. наук И. И. Левкоев, канд. хим. наук В. И. Шеберстов.

208914
Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

I. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ХИМИКО-ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н. М. КИЛИНСКИЙ, Ю. Б. ВИЛЕНСКИЙ, А. Н. ПОРДАНСКИЙ О ПОВЫШЕНИИ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ, РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И КАЧЕСТВА ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ НЕГАТИВНЫХ КИНОПЛОНОК

За истекшие десять лет НИКФИ и Шосткинский химический завод совместно создали ряд новых сортов цветных негативных киноплёнок, отличающихся от исходной цветной киноплёнки ДС-1 лучшими сенситометрическими характеристиками (см. таблицу).

Плёнка	Освещение при съёмке	Свето чувстви- тельность (усл. ед.)	Разрешающая способность в слоях (мм ⁻¹)				Качество цветовос- произведения	Год освоения
			общий	верх- ний	сред- ний	ниж- ний		
ДС-1	Дневной свет.	100	45	50	34	27		1946
ДС-2		300—400	45	50	34	27		1950
ЛН-2	Лампы накаливания.	250—350	45	50	34	27		1953
ЛН-3		350—450	45	50	34	27		1956
		500—700	70	80	50	34	Улучшено (применена новая пурпурная компонента).	1957—1958
ДС-3	Дневной свет.	250—350	70	80	50	34	Значительно улучшено (применены маскирующие компоненты).	1958—1959
ДС-5								

При разработке новых сортов киноплёнок (ДС-2, ДС-3, ЛН-2, ЛН-3, ДС-5) нашли применение результаты исследований, проводившихся для увеличения светочувствительности, разрешающей способности и качества цветовоспроизведения у цветных негативных плёнок. В настоящем сообщении дается краткое изложение этих работ.

1. Повышение светочувствительности

В одной из ранних работ К. В. Чибисова [1] утверждается, что светочувствительность эмульсии определенным образом зависит от концентрации избыточного бромидов, присутствующего в процессе первого созревания. Последующие опыты, однако, показали, что связь между этими величинами не всегда носит закономерный характер. Это было объяснено тем, что в проведенных работах принималось во внимание только то коли-

чество избыточного бромида, которое присутствует в эмульсии в конце первого созревания.

К. С. Ляликов [2] показал, что скорость физического созревания (константа скорости роста кристаллов в уравнении Смолуховского) зависит от концентрации избыточного бромида ввиду влияния последнего на растворимость галоидного серебра. У безаммиачных эмульсий эта зависимость близка к линейной, у аммиачных эмульсий она более сложна вследствие образования двух видов комплексных ионов серебра — аммиачного и бромистого. Но и в последнем случае изменение количества избыточного бромида несомненно вызывает изменение скорости роста микрокристаллов.

Известно, что чем больше эта скорость, тем больше число образующихся нарушений кристаллической решетки [3].

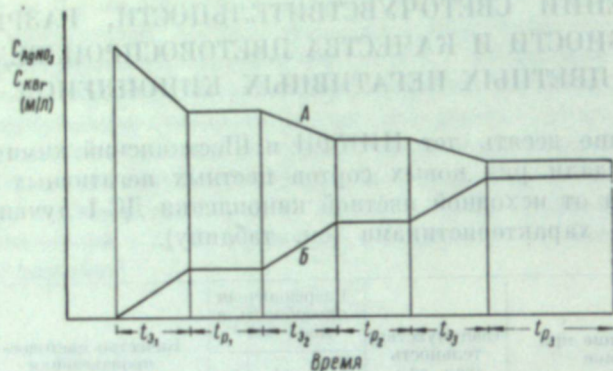


Рис. 1. Кривые изменения концентрации растворимого бромида (A) и соли серебра (B) по мере смешения исходных растворов.

$t_{a1}, t_{a2}, \dots, t_{a_n}, t_{p1}, t_{p2}, \dots, t_{p_n}$ — продолжительности 1-й, 2-й, ... эмульсификаций и пауз между ними.

Естественно предположить, что изменение скорости роста кристаллов также должно вызывать образование нарушений кристаллической решетки, в частности дислокаций, которым в современной теории светочувствительности придается фундаментальное значение [4, 5]. Но если изменение скорости роста кристаллов связано с изменением количества избыточного бромида, то и светочувствительность должна быть связана не с каким-либо определенным количеством избыточного бромида, а с изменением этой величины в процессе смешения исходных растворов.

Исходя из этого, был предложен простой графический способ наблюдения за изменением этой величины в процессе физического созревания [6]. Если по оси абсцисс откладывать время, отсчитываемое от начального момента добавления раствора соли серебра к раствору бромида, а по оси ординат — концентрации растворов бромида и соли серебра (в молях на литр, вычисляемые в предположении, что происходит простое разбавление растворов по мере их смешения, то получают две кривые (рис. 1), одна из которых (верхняя) выражает изменение концентрации бромида, а другая — изменение концентрации соли серебра. Разности между ординатами этих двух кривых, очевидно, численно равны концентрации избыточного бромида.

Между кривыми заключена площадь, размер и форма которой зависят от хода изменения избыточного количества бромида по мере смешения исходных растворов. Оказалось, что светочувствительность эмульсии закономерно связана с размером и формой этой площади, почему последняя была названа характеристической.

Полученные в этой работе и неоднократно проверенные экспериментальные данные позволили сделать следующие выводы:

1) с увеличением числа ступеней характеристической площади и, следовательно, числа изменений скорости роста микрокристаллов, светочувствительность до известной степени возрастает (рис. 2);

2) светочувствительность эмульсии зависит от крутизны наклона ступеней площади; чем круче наклон, т. е. чем быстрее изменяется скорость роста микрокристаллов, тем, при прочих равных условиях, светочувствительность выше (рис. 3);

3) в пределах одной группы эмульсий, характеризующихся одинаковой по форме площадью, увеличение последней ведет к возрастанию светочувствительности (рис. 2).

Эти выводы нашли практическое применение при создании цветных

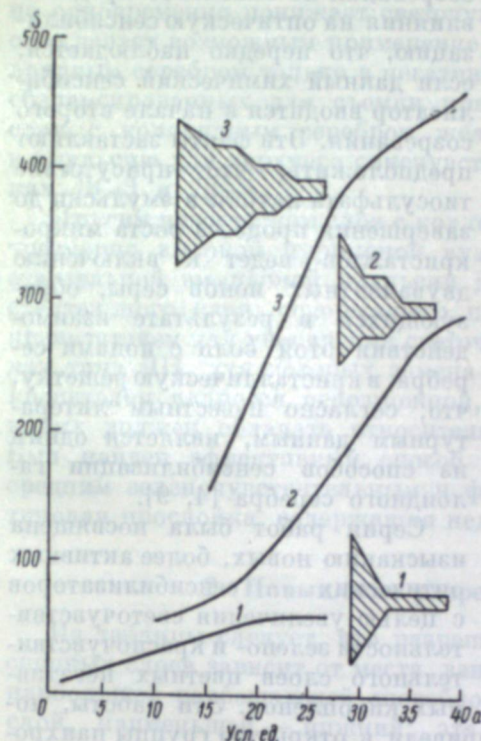


Рис. 2. Кривые зависимости светочувствительности (S) от размера характеристической площади эмульсии (a) и ее формы.

1, 2, 3 — одно-, двух- и трехступенчатые характеристические площади.

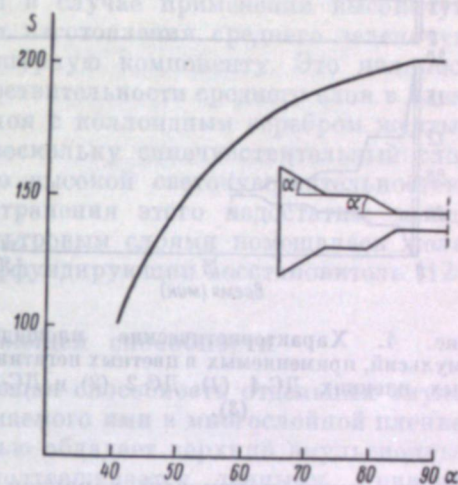


Рис. 3. Влияние наклона ступеней площади на светочувствительность (при условии равенства площадей по размеру и числу ступеней).

негативных киноплёнок с повышенной светочувствительностью. На рис. 4 приведены характеристические площади наиболее светочувствительных эмульсий, применяемых для изготовления киноплёнок ДС-1, ДС-2 и ДС-3. Эти площади отличаются более крутым наклоном ступеней у эмульсий для ДС-2 и ДС-3 и возрастают по размеру от ДС-1 к ДС-3. В том же направлении возрастает светочувствительность этих эмульсий.

Другая работа из группы исследований в области физического созревания эмульсий касалась вопроса о влиянии тиосульфата натрия при введении его в процессе первого созревания.

И. М. Ратнер [7] показала, что введение этой соли в конце физического созревания при известных условиях приводит к заметному увеличению светочувствительности эмульсии. При промывании эмульсии этот эффект пропадает.

Найдено, что введение тиосульфата в начале или конце процесса эмульсификации также вызывает возрастание светочувствительности, тем более

заметное, чем менее активным является желатин, присутствующий при смешении исходных растворов. Такое же явление ранее наблюдалось К. В. Чибиловым и И. М. Ратнер [8]. При этом способе введения тиосульфата промывание эмульсии не оказывает влияния на эффект возрастания светочувствительности. Кроме того, добавление тиосульфата натрия в начале физического созревания не оказывает вредного влияния на оптическую сенсibilизацию, что нередко наблюдается, если данный химический сенсibilизатор вводится в начале второго созревания. Эти факты заставляют предположить, что присутствие тиосульфата натрия в эмульсии до завершения процесса роста микрокристаллов ведет к включению двувалентных ионов серы, образующихся в результате взаимодействия этой соли с ионами серебра, в кристаллическую решетку, что, согласно известным литературным данным, является одним из способов сенсibilизации галоидного серебра [4, 9].

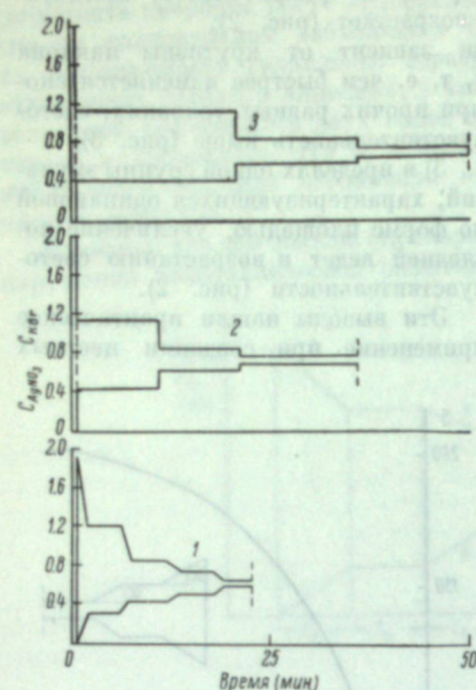


Рис. 4. Характеристические площади эмульсий, применяемых в цветных негативных пленках ДС-1 (1), ДС-2 (2) и ДС-3 (3).

Серия работ была посвящена изысканию новых, более активных оптических сенсibilизаторов с целью увеличения светочувствительности зелено- и красочувствительного слоев цветных негативных киноплёнок. Эти работы, носившие чисто поисковый характер, привели к открытию группы панхроматических тиакарбодиазидовых сенсibilизаторов, обладающих не только высокой компонентоустойчивостью, но и значительно более высокой активностью по сравнению с ранее применявшимся в пленке ДС-1 роданидным сенсibilизатором [10]. Один из сенсibilизаторов этой группы нашел применение при изготовлении красочувствительного слоя во всех перечисленных выше негативных сортах киноплёнок.

Проведение ряда работ было обусловлено некоторыми недостатками желтого фильтровального слоя, содержащего коллоидное серебро, применяемого для защиты оптически сенсibilизированных слоев от действия на них синих лучей. Одним из недостатков этого слоя является заметное поглощение им зеленых лучей, приводящее к уменьшению эффективной светочувствительности зеленочувствительного слоя почти в два раза [11]. В связи с этим изучалась возможность замены слоя с коллоидным серебром желтым красителем,

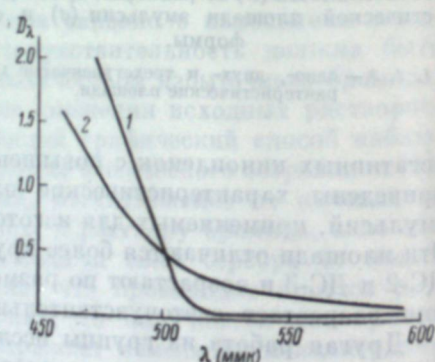


Рис. 5. Спектральные кривые поглощения тартразина (1) и коллоидного серебра (2) в цветных негативных пленках.

обладающим более совершенной кривой зависимости. Таким красителем оказался тартразин (рис. 5).

В связи с диффузией этого красителя в оптически сенсibilизированные слои изучалось влияние тартразина на оптическую сенсibilизацию зелено- и красочувствительного слоев. Оказалось, что тартразин практически не влияет на спектральную чувствительность этих слоев, по крайней мере в количествах, могущих продиффундировать в указанные слои. В то же время было подтверждено, что введение этого красителя в синечувствительный слой заметно увеличивает его разрешающую способность, но одновременно понижает светочувствительность. Последнее обстоятельство делает возможным применение желтого красителя взамен слоя с коллоидным серебром только в негативных сортах цветных пленок (типа ДС), сбалансированных для съемки при освещении дневным светом. Замена слоя с коллоидным серебром желтым красителем путем введения его в эмульсию для верхнего синечувствительного слоя осуществлена в пленках ДС-3 и ДС-5.

Другим недостатком слоя с коллоидным серебром является образование чрезмерно высокой пурпурной вуали в случае применения высокочувствительной аммиачной эмульсии для изготовления среднего зеленочувствительного слоя, содержащего пурпурную компоненту. Это являлось препятствием для увеличения светочувствительности среднего слоя в пленках типа ЛН, для которых замена слоя с коллоидным серебром желтым красителем является невозможной, поскольку синечувствительный слой в них должен обладать относительно высокой светочувствительностью. Был найден эффективный способ устранения этого недостатка: между средним зеленочувствительным и фильтровым слоями помещалась желатиновая прослойка, содержащая недиффундирующий восстановитель [12].

2. Повышение разрешающей способности

Из таблицы следует, что разрешающая способность отдельных эмульсионных слоев зависит от места, занимаемого ими в многослойной пленке: наибольшей разрешающей способностью обладает верхний эмульсионный слой, наименьшей — нижний; это подтверждается данными, приводимыми и в других работах [13—15]. Объясняется это тем, что свет, попадающий в средний, а тем более в нижний эмульсионный слой, оказывается в известной мере рассеянным вышележащими слоями. При этом общая разрешающая способность при условии равенства плотностей трех цветоделенных изображений мира, вопреки мнению некоторых авторов [14], практически совпадает с разрешающей способностью верхнего слоя [15].

Уменьшение толщины эмульсионных слоев, ведущее к уменьшению количества рассеянного света, который попадает в нижележащие слои, должно иметь следствием увеличение разрешающей способности последних. Однако простое уменьшение толщины эмульсионного слоя вызывает ухудшение других фотографических свойств — коэффициента контрастности, фотографической широты и максимальной плотности, а при известных условиях — и светочувствительности. Поэтому уменьшение толщины эмульсионного слоя должно сопровождаться увеличением концентрации галоидного серебра в эмульсионном слое. В связи с этим было изучено влияние концентрации галоидного серебра в эмульсионном слое (q) на разрешающую способность.

Ранее было установлено [16], что кривая зависимости разрешающей способности от концентрации галоидного серебра проходит через максимум. Увеличение разрешающей способности с ростом q было объяснено тем, что с увеличением концентрации галоидного серебра уменьшается

относительное количество рассеянного света. Позднее это подтвердилось в работе В. Маркоцкого [17]. Падение разрешающей способности после прохождения через максимум, как показал опыт, связано с некоторыми условиями проявления.

Оказалось [18], что цветной проявитель (диэтилпарафенилендиаминный), близкий по механизму проявления к физическому, сдвигает по сравнению с метолгидрохиноновым максимум кривой зависимости разрешающей способности от q в сторону больших концентраций галлоидного серебра и, кроме того, увеличивает абсолютное значение R (рис. 6). Отсюда был сделан вывод о целесообразности применения для цветных пленок эмульсий с более высоким значением q , чем для черно-белых материалов. Действительно, применение такой эмульсии в пленках ДС-3 и ДС-5 позволило значительно (приблизительно на 30%) уменьшить общую толщину эмульсионных слоев и заметно улучшить разрешающую способность среднего и нижнего эмульсионных слоев (табл. 1). Высокая разрешающая способность верхнего слоя у этих пленок объясняется не только применением эмульсии с более высокой

Рис. 6. Влияние на разрешающую способность (R_s) концентрации галлоидного серебра (q) в эмульсионном слое.

1 — метолгидрохиноновый проявитель; 2 — диэтилпарафенилендиаминный проявитель.

концентрацией галлоидного серебра, но также введением в эту эмульсию желтого красителя.

Другой путь улучшения разрешающей способности конечного позитивного цветного изображения связан с изменением расположения слоев негативной и позитивной пленок [19]. Выводы из работы, проведенной в этом направлении, нашли отражение при создании новой цветной позитивной пленки (ЦП-7) с измененным расположением слоев [20].

3. Улучшение качества цветовоспроизведения

Одной из наиболее существенных причин искажения цветовоспроизведения пленками ДС-2, ЛН-2 и ЛН-3 является несовершенство красителей, образующихся в пленках при цветном проявлении, особенно пурпурного и в несколько меньшей степени голубого. Несовершенство этих красителей выражается в том, что ими поглощается свет в спектральных зонах, соседних с основной зоной поглощения. Так, пурпурный краситель заметно поглощает свет в синей области спектра, голубой — в синей и зеленой (рис. 7). Это приводит к тому, что в среднем зеленочувствительном слое наряду с пурпурным образуется вредное желтое изображение, а в нижнем красочувствительном наряду с голубым — вредные желтое и пурпурное. Эти дополнительные изображения и являются причиной так называемых цветоделительных искажений. Если в технологическом процессе балансирования слоев по коэффициенту контрастности не учитывается контраст этих вредных изображений, то неизбежно возникают, кроме того, и градационные искажения.

В пленке ДС-3 была применена новая пурпурная компонента, разработанная НИКФИ. Благодаря значительно меньшему поглощению синих лучей пурпурным красителем, образующимся из этой компоненты (рис. 7, прерывистая линия), удалось заметно улучшить качество цветовоспроизведения в этой пленке.

Однако получение вполне совершенных красителей представляет почти невыполнимую задачу, поскольку к краскообразующим компонентам предъявляется одновременно ряд требований (высокая активность и др.), на практике оказывающихся зачастую несовместимыми с требованием образования совершенных красителей.

Для разрешения задачи высококачественного цветовоспроизведения значительным преимуществом обладает способ маскирования, позволяющий в принципе исправить самый несовершенный краситель [21]. Способ внутреннего маскирования связан с применением особых, так называемых маскирующих компонент, отличающихся от обычных бесцветных тем, что они окрашены в цвет вредного изображения, образующегося в маскируемом слое. В пленке ДС-5 маскируемые слоями являются средний и нижний, так как образующиеся в них красители (пурпурный и голубой) имеют заметное вредное поглощение в соседних с основной зонах спектра. В эмульсии для этих слоев вводятся маскирующие компоненты — пурпурная, окрашенная в желтый цвет (средний слой), и голубая, окрашенная в оранжевый цвет (нижний слой). Такие компоненты были синтезированы в НИКФИ [22].

В процессе цветного проявления эти компоненты, подобно обычным бесцветным компонентам, образуют с продуктами окисления цветного проявителя красители — пурпурный в среднем и голубой — в нижнем слоях. По мере увеличения экспозиции в процессе проявления возрастает количество этих красителей и соответственно уменьшается остаточное количество компонент. Вследствие этого наряду с негативными пурпурным и голубым изображениями образуются позитивные — желтое (в среднем) и оранжевое (в нижнем) — изображения, называемые маскирующими (масками).

В маскируемом слое оба изображения — позитивное маскирующее и вредное негативное — оптически складываются. Если контрасты этих двух изображений равны, то получается постоянная плотность, не зависящая от экспозиции. Суммарная линия плотностей обоих изображений представляет собой в этом случае прямую, параллельную оси экспозиции, и выражает условие правильного маскирования (рис. 8). Если контраст маскирующего изображения меньше или больше контраста вредного, то суммарная линия плотностей будет иметь положительный или отрицательный наклон. В первом случае имеет место недомаскирование, во втором — перемаскирование.

При разработке пленки ДС-5 было установлено, что маскирующие компоненты в большинстве случаев обуславливают образование чрезмерно контрастных маскирующих изображений, вызывающих явление

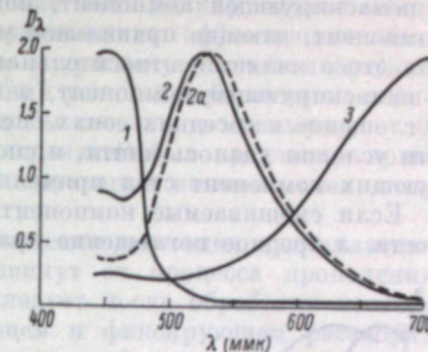


Рис. 7. Кривые спектрального поглощения красителей — желтого (1), пурпурного (2) и голубого (3), — образующихся при цветном проявлении в негативных кинопленках ДС-2, ЛН-2 и ЛН-3, а также пурпурного красителя (2а) из новой пурпурной компоненты НИКФИ (применена в пленке ДС-3).

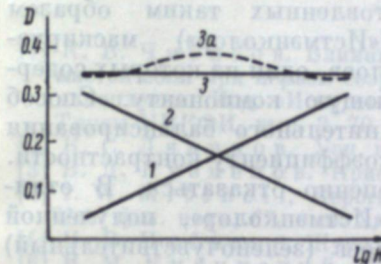


Рис. 8. Зависимость копировальных плотностей вредного (1) и маскирующего (2) изображений от экспозиции.

3 — суммарная кривая плотностей изображений 1 и 2; 3а — суммарная кривая, получающаяся в случае применения смеси из маскирующей и немаскирующей компонент, сильно различающихся по активности.

перемаскирования. При этом максимальная копировальная плотность маски оказывается слишком высокой, что создает серьезные затруднения для печати позитивных копий с маскированных негативов. В связи с этим было проведено исследование возможности применения смеси из маскирующей и немаскирующей компонент, показавшее, что существуют соотношения компонент, дающие правильное маскирование. Однако важным условием для этого является относительная близость по активности маскирующей и немаскирующей компонент, а также относительно небольшое вредное поглощение в соседних зонах спектра (пурпурный и голубой красители). Эти условия удалось найти, и способ смешения маскирующих и немаскирующих компонент стал применяться при создании пленки ДС-5.

Если смешиваемые компоненты сильно различаются по своей активности, а вредное поглощение красителя велико, то на результирующей

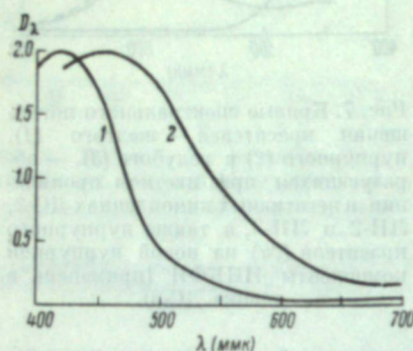


Рис. 9. Кривые поглощения желтоокрашенной пурпурной (1) и оранжевоокрашенной голубой (2) маскирующих компонент, применяемых в пленке ДС-5.

линии плотностей (рис. 8, прерывистая линия) появляется широкий максимум [23]. Это означает, что в области малых экспозиций, в которой работает более активная немаскирующая компонента, возникает недомаскирование (положительный наклон левой ветви кривой), а в области больших экспозиций, в которой работает преимущественно менее активная маскирующая компонента, имеет место перемаскирование (отрицательный наклон правой ветви кривой). В этом случае, возможно, более рациональным является помещение маскирующей и немаскирующей компонент в разных слоях.

В изготовленных таким образом пленках («Истмэнколор») маскируемые слои состоят каждый из двух частичных слоев, один из которых содержит маскирующую, а другой — немаскирующую компоненту. Способ этот весьма сложен, так как требует дополнительного балансирования частичных слоев по светочувствительности и коэффициенту контрастности. От него, по-видимому, нашли нужным постепенно отказаться. В отличие от более ранних образцов в пленке «Истмэнколор», полученной в 1959 г., только один из маскируемых слоев (зеленочувствительный) состоит из двух частичных слоев.

Важная особенность маскирующих компонент состоит в том, что к ответственной за окраску компоненты фенилазогруппе в ее молекуле [22] предъявляются противоречивые требования. С одной стороны, необходимо, чтобы эта группа в процессе цветного проявления легко отщеплялась от остальной части молекулы компоненты при взаимодействии с продуктами окисления цветного проявителя; это важно для сохранения высокого уровня светочувствительности слоя. С другой стороны, не менее важно, чтобы та же фенилазогруппа была прочно связана с молекулой компоненты в том же процессе проявления в присутствии неэкспонированного галоидного серебра, а также в отбеливающем и фиксирующем растворах, из которых первый при известных условиях (например, в присутствии даже весьма незначительных загрязнений проявляющим веществом) выполняет функцию экспонированного галоидного серебра, т. е. окислителя.

В связи с этим под руководством Ц. С. Ариольд была проведена большая работа по изысканию способа обработки цветных пленок с маскирующими компонентами, в котором эти противоречивые требования разрешились бы оптимальным образом.

В этой работе было попутно установлено, что степень поглощения света маскирующими компонентами в зонах поглощения, соседних с основной (у желтоокрашенной компоненты — в зеленой, у оранжевой — в красной области спектра), изменяется в зависимости от состава и pH обрабатываемых растворов (рис. 9). Так как поглощение света маскирующими компонентами в этих зонах спектра ведет к уменьшению эффективных значений коэффициента контрастности зелено- и красноточувствительных слоев, то была поставлена также задача изыскания условий, при которых поглощение света в этих зонах спектра было бы сведено к минимуму.

На основании результатов этого исследования был предложен новый способ обработки цветных пленок с маскирующими компонентами, отличающийся следующими особенностями.

1. Процесс отбеливания для предотвращения занесения проявляющего раствора в отбеливающий сильно отодвинут от процесса проявления. В предложенном способе отбеливание следует после обработки последовательно в проявляющем, допроявляющем и фиксирующем растворах, причем после фиксирования (перед отбеливанием) проводится продолжительное промывание в воде.

2. Состав и pH отбеливающего и фиксирующего растворов отличаются определенным образом от тех же растворов для обработки обычных цветных пленок.

3. Промывание после проявления заменено обработкой в особом допроявляющем растворе с целью устранения вредного влияния на воспроизводимость результатов обработки сезонных и местных колебаний состава промывных вод [24].

Предложенный метод обработки цветных кинопленок с маскирующими компонентами применяется на ряде киностудий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. В. Чибисов. Влияние на свойства эмульсии избытка растворимой бромистой соли при первом созревании. В кн. П. В. Козлов. Технология фотокинопленки. Изд. «Искусство», 1937; К. В. Чибисов, Н. В. Макаров, Труды НИКФИ, вып. 2, 70, 1934.
- [2] К. С. Ляликов, Усп. научн. фотографии, 1, 31, 1951.
- [3] В. Д. Кузнецов. Кристаллы и кристаллизация. Гостехиздат, 1954.
- [4] I. W. Mitchell, Reports on Progress in Physics, 20, 433, 1957. См. также: Усп. физ. наук, 67, вып. 2, 1959.
- [5] К. В. Чибисов, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 2, 3, 1957.
- [6] И. М. Килинский, Труды НИКФИ, вып. 29, 1959.
- [7] И. М. Ратнер, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 251, 1958.
- [8] К. В. Чибисов, И. М. Ратнер, Докл. АН СССР, 89, 329, 1953.
- [9] O. Stasiw, I. Teltow, Ann. Phys. (5), 40, 181, 1941.
- [10] И. М. Килинский, И. И. Левкоев, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Авт. свид., СССР, № 102738.
- [11] И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Труды НИКФИ, вып. 29, 1959.
- [12] В. А. Боголюбский, Г. П. Шумеляк, Л. В. Гречко и Ю. Б. Виленский, Усп. научн. фотографии, VIII, 61, 1962.
- [13] I. Eggert, W. Grossmann, Naturwissenschaften, 39, 132, 1952.
- [14] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотографии, II, 131, 1954.
- [15] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, М. К. Гречков, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1, 359, 1956.
- [16] И. М. Килинский, Труды НИКФИ, вып. 7, 1947.
- [17] W. Markoski, Chemia, I, XII, 21—41, 1954; Ref.: Sc. et Ind. Phot. (2), 26, 3, 87, 1955.
- [18] И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 5, 108, 1960.
- [19] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 2, 198, 1957.
- [20] Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Н. Н. Бударина, Усп. научн. фотографии, VIII, 13, 1962.

- [21] Н. Д. Ньюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Сов. наука», М., 1948; Н. С. Овечкис, Л. Ф. Артюшин, Техника кино и телевидения, I, вып. 9, 51, 1957.
- [22] Б. С. Портная, И. А. Соловьева и др. Усп. научн. фотографии, VIII, 35, 1962.
- [23] Ю. Б. Виленский, Чень Куан-мин, Л. Ф. Патрикеев, Е. И. Тульчинская, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 183—186, 1960.
- [24] Ц. С. Арнольд, Усп. научн. фотографии, VII, 246, 1960.

Ю. Б. ВИЛЕНСКИЙ, А. Н. ИОРДАНСКИЙ, Н. Н. БУДАРИНА

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ УЛУЧШЕНИЯ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И РЕЗКОСТИ В ЦВЕТНЫХ ПОЗИТИВНЫХ ПЛЕНКАХ

Создание новых видов кинематографа — широкоэкранного, панорамного и других — и рост художественных запросов зрителей привел к повышению требований, предъявляемых к цветным пленкам. В первую очередь это относится к цветовоспроизведению и к резкости.

Выпуск цветных негативных материалов с маскирующими компонентами в слоях и изменение строения позитивной пленки, например в комплексе пленок «Истмэнколор», привели к существенному повышению качества изображения.

В настоящем сообщении рассматриваются некоторые вопросы улучшения цветоделения и резкости изображения, связанные со свойствами цветных позитивных материалов.

1. Цветовоспроизведение

В позитивном процессе могут иметь место три вида нарушений цветовоспроизведения: а) нарушение цветоделения, б) градационные искажения и в) сужение цветового охвата позитива.

Далее рассматриваются основные причины таких нарушений. При этом предполагается, что печать ведется с негатива, свободного от градационных и цветоделительных искажений.

Нарушения цветоделения в процессе печати могут быть вызваны в первую очередь неправильным спектральным распределением светочувствительности отдельных слоев позитивной пленки.

В случае перекрытия спектральных зон чувствительности в отдельном слое позитива пропечатывается не один, а два или даже все три цветоделенных негативных изображения. При рациональном выборе компонент для цветной негативной пленки и оптических сенсibilизаторов позитивной пленки удастся практически полностью устранить перекрытие чувствительностей зелено- и красочувствительного слоев позитивной пленки. Сложнее устранить перекрытие между зеленой и синей зонами. Когда во всех слоях используется бромосеребряная эмульсия, то собственная чувствительность бромистого серебра устраняется применением желтого фильтрового слоя или прокраской всех слоев фильтровым красителем, которые имеют недостаточно крутой спад или длинноволновую границу поглощения при слишком малых длинах волн (рис. 1).

В свою очередь даже лучшие ортохроматические сенсibilизаторы имеют слишком пологую коротковолновую ветвь кривой спектральной чувствительности (рис. 2, 1). Поэтому в большинстве позитивных цветных пленок не удается полностью устранить перекрытие синей и зеленой зон светочувствительности. Особенно это относится к бесфильтровым пленкам, окрашенным тартрацином. Этот недостаток может быть значи-

тельно ослаблен применением при печати монохроматических источников света [1].

Перекрытие можно уменьшить, если применять для зелено- и красноросеребряные эмульсии, имеющие значительно более коротковолновую и менее интенсивную полосу собственной чувствительности [2]. Кроме того, некоторые ортохроматические красители в хлоросеребряных эмульсиях обнаруживают снижение коротковолновой ветви полосы сенсibilизации (рис. 2, 2), что также уменьшает перекрытие.

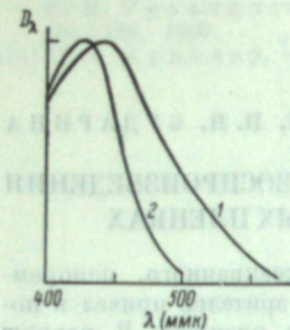


Рис. 1. Спектральное поглощение коллоидно-серебряного фильтрового слоя (1) и фильтрового красителя тартрацина (2).

В последнее время хлоросеребряные эмульсии находят все более широкое применение в цветных позитивных материалах (пленки «Феррания-колор-позитив», «Истмэнколор-позитив», ЦП-7 и др.). При разработке однослойной цветной пленки применение хлоросеребряных эмульсий оказывается неизбежным [3]. Нельзя также считать исчерпанными возможности подбора сенсibilизаторов с более узкими полосами сенсibilизации.

Источником нарушения правильного распределения спектральной светочувствительности слоев может быть также диффузия сенсibilизаторов в слоях многослойных пленок. При соответствующих условиях эксперимента в желатиновых слоях можно обнаружить диффузию даже таких сенсibilизаторов, которые обычно считают недиффундирующими. Однако при рациональном подборе сенсibilизаторов удается практически полностью избежать их диффузии при поливе цветных позитивных пленок.

Значительное нарушение цветоделения имеет место при возникновении вертикального эффекта проявления второго рода, если применяются недостаточно реакционноспособные краскообразующие компоненты [4]. В этом случае первичные продукты окисления проявляющего вещества не полностью реагируют с компонентой слоя, в котором они образовались. Диффундируя в соседние слои, они вызывают образование посторонних красителей, чем нарушают цветоделение.

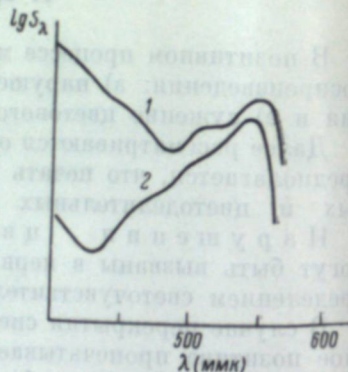


Рис. 2. Спектральная чувствительность бромодосеребряной (1) и хлоросеребряной (2) эмульсий, сенсibilизированных ортохроматическим сенсibilизатором.

Вертикальный эффект проявления второго рода может быть устранен применением между светочувствительными слоями многослойной пленки желатиновых прослоек, содержащих недиффундирующие или защищенные от диффузии восстановители [4]. В некоторых случаях они могут быть заменены недиффундирующими компонентами [5, 6].

Градационные искажения цветопроизведения связаны с нарушениями баланса по контрастности и светочувствительности. В обычных многослойных цветных позитивных пленках степень отклонения от идеального баланса определяется уровнем техники производства и фотографической обработки. Получение хорошего баланса не вызывает принципиальных затруднений. Особо следует остановиться на позитивных пленках, предназначенных для печати с маскированного негатива и содержащих хлоросеребряные эмульсии. Большие разности значений копи-

ровальных плотностей маски негатива в синей, зеленой и красной зонах (табл. 1) вызывают необходимость значительной (до восьмикратной) разбалансировки по чувствительности (рис. 3, 1).

Если позитивную пленку с таким балансом по чувствительности экспонировать на обычном сенситометре, то рабочие экспозиции каждого из слоев будут различны. При проявлении имеет место сильно выраженный вертикальный эффект проявления первого рода, который приводит к падению контраста желтого изображения (рис. 3, 1). Поэтому при сенситометрических испытаниях таких пленок экспонирование следует проводить за маской или соответствующими корректирующими фильтрами.

При использовании хлоросеребряных эмульсий для зелено- и красноросеребряных слоев или при прокраске фильтровым красителем необходимо обеспечить высокую степень оптической сенсibilизации. При экспозициях в красной или зеленой зонах, приводящих к образованию максимальных плотностей, не должно возникать изображение в зоне собственной чувствительности хлористого серебра, в противном случае

Таблица 1
Копируемые плотности маски

Пленка	D_c	D_a	D_k	$\Delta \lg H$
Истмэнколор-негатив . . .	0.98	0.47	0.07	0.91
ДС-5 . . .	0.85	0.37	0.15	0.70

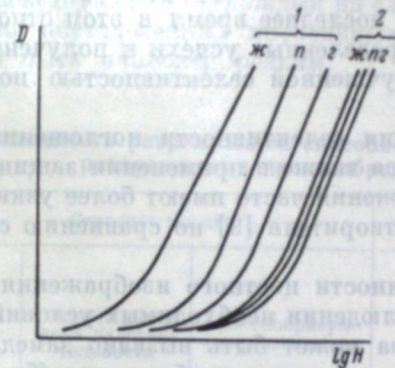


Рис. 3. Характеристические кривые позитивной пленки ЦП-7 при экспонировании без маски (1) и за маскирующей плотностью пленки ДС-5 (2).

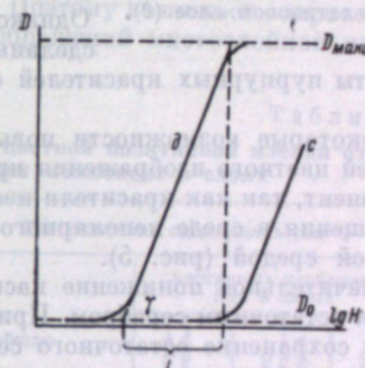


Рис. 4. Схема к выводу уравнения (1).
Характеристические кривые: d — в зоне сенсibilизации, c — в зоне собственной светочувствительности.

возникает нарушение цветоделения. Это условие, вытекающее из простых геометрических построений (рис. 4), выражается уравнением:

$$L = \lg S_d - \lg S_c = \frac{D_{\max} - D_0}{\gamma} \quad (1)$$

где L — используемая фотографическая широта; S_d и S_c — дополнительная и собственная чувствительности хлоросеребряной эмульсии; γ — коэффициент контрастности; $D_{\max}$ — максимальная плотность и D_0 — вуаль.

Из уравнения (1) следует, что при $D_{\max} = 3.0$, $D_0 = 0.15$ и $\gamma = 2.5$ необходимая степень сенсibilизации орто- и панхроматических слоев $\frac{S_d}{S_c}$ равна 11.4.

Современная эмульсионная техника позволяет получать необходимую степень сенсibilизации хлоросеребряных эмульсий [7, 8].

Цветовой охват позитивного цветного материала полностью определяется колориметрическими свойствами красителей изображения. К ним можно предъявить два основных требования: а) зоны поглощения каждого красителя триады должны обеспечивать наибольший охват по цветному тону; б) селективность спектрального поглощения красителей в пределах заданной зоны (насыщенность) должна быть максимальной возможной.

Современная химия располагает достаточным количеством компонент, позволяющих получать разнообразные по цветовому тону красители.

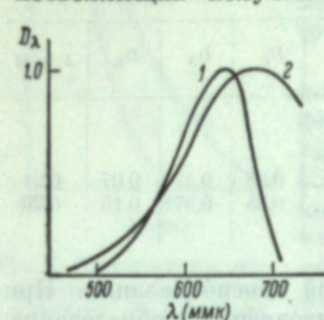


Рис. 5. Спектральное поглощение красителя голубого изображения в бензоле (1) и в желатиновом слое (2).

Поэтому выбор зон поглощения определяется первым из указанных требований. Обычно считается, что зоны поглощения должны ограничиваться пределами 400—500, 500—600, 600—700 мкм. Однако практически всегда имеют место отклонения, и максимумы поглощения красителей не лежат в серединах этих зон.

К сожалению, мы точно не знаем, в какой степени эти отклонения влияют на цветовой охват. Более подробные исследования в этом направлении представляются нам весьма желательными. Значительно труднее обеспечить высокую селективность поглощения. В особенности это относится к пурпурному красителю. Однако за последнее время в этом отношении сделаны определенные успехи и получены ком-

поненты пурпурных красителей с улучшенной селективностью поглощения.

Некоторые возможности повышения селективности поглощения красителей цветного изображения кроются также в применении защищенных компонент, так как красители изображения часто имеют более узкие зоны поглощения в среде неполярного растворителя [9] по сравнению с желатиновой средой (рис. 5).

Значительное понижение насыщенности цветного изображения вызывается остаточным серебром. При соблюдении необходимых условий обработки сохранение остаточного серебра может быть вызвано замедлением отбеливания некоторыми желтыми красителями изображения (бронзирования).

Подбором подходящих краскообразующих компонент удастся избежать эффекта бронзирования.

2. Резкость цветного позитивного изображения

Резкость цветного изображения является важным фактором, влияющим на зрительное восприятие кинофильма. Значительный рост масштаба увеличения изображения в новых видах кинематографа обычно не сопровождается пропорциональным удалением первого ряда зрителей, и воспринимаемая ими резкость изображения ухудшается.

Для повышения резкости наряду с улучшением техники изготовления и проекции фильма необходимо повышение качества позитивной пленки. Резкость изображения, получаемого на позитивном материале, является сложной функцией многих параметров и не может быть охарактеризована одной величиной, например разрешающей способностью. Сам характер нарушения резкости различен у пленок разного строения (различная окраска цветных каемок) и зависит от размеров деталей изображения [10].

На восприятие различных нарушений резкости кинематографического изображения оказывают влияние такие психофизические факторы, как

последовательный и одновременный цветовой контраст и др. В настоящее время этот вопрос недостаточно изучен, и окончательное суждение о резкости изображения можно составить только при просмотре его на экране.

В числе факторов, оказывающих влияние на резкость позитивного изображения на многослойных пленках, важнейшими являются: а) рассеяние света в эмульсионных слоях (ореол рассеяния), б) отражение света от подложки (ореол отражения) и в) динамическая и статическая зернистость цветного изображения.

Рассеяние света в эмульсионных слоях. Многослойность современных цветных пленок обуславливает неравенство степени рассеяния света, действующего на верхний, средний и нижний эмульсионные слои. В табл. 2 приведены значения разрешающей способности позитивных пленок с различным расположением компонент в слоях [11]. Они показывают, что разрешающая способность во всех случаях резко убывает от верхнего к нижнему слою. Это обусловлено рассеянием света в вышележащих слоях, являющимся неотъемлемым свойством многослойных пленок. Распределение красителей изображения по слоям существенного влияния на разрешающую способность пленки не оказывает. Эти результаты расходятся с ранее высказанным представлением о решающем влиянии пурпурного изображения на общую разрешающую способность [12].

Только в однослойных пленках можно достичь равенства рассеяния света, действующего на каждый из слоев. Поэтому возникает вопрос о том, какое из цветоделенных позитивных изображений многослойной пленки должно быть наиболее резким.

Таблица 2
Зависимость разрешающей способности цветной позитивной пленки от распределения краскообразующих компонент в слоях

Строение пленки			Разрешающая способность (мм ⁻¹)			
слой	спектральная зона чувствительности	краскообразующая компонента	общая	частичных изображений в слоях		
				синечувствительный	зеленочувствительный	красночувствительный
Верхний	Синяя	Желтая	182—193	216	47	31
Средний	Зеленая	Пурпурная				
Нижний	Красная	Голубая				
Верхний	Синяя	Пурпурная	196—206	238	47	34
Средний	Зеленая	Желтая				
Нижний	Красная	Голубая				
Верхний	Синяя	Желтая	134	238	40	31
Средний	Зеленая	Голубая				
Нижний	Красная	Пурпурная				
Верхний	Синяя	Голубая	196—206	238	58	34
Средний	Зеленая	Желтая				
Нижний	Красная	Пурпурная				
Верхний	Синяя	Пурпурная	196—206	238	58	34
Средний	Зеленая	Голубая				
Нижний	Красная	Желтая				
Верхний	Синяя	Голубая	178—196	238	47	31
Средний	Зеленая	Пурпурная				
Нижний	Красная	Желтая				

Известно, что человеческий глаз в условиях колбочкового зрения имеет наибольшую пороговую чувствительность к зеленому цвету [13], меньшую — к красному и наименьшую — к синему. В позитиве эти цвета образуются посредством пурпурного, голубого и желтого красителей соответственно.

Одинаковые градации плотности размытого края будут поэтому различаться глазом сильнее в случае зеленого (пурпурного) изображения слабее — красного (голубого) и совсем слабо — синего (желтого). Поэтому выгоднее допустить снижение резкости в этой же последовательности.

Этот вывод относится ко всему процессу цветной репродукции. Потери резкости из-за рассеяния в эмульсионных слоях имеет место как в негативной, так и в позитивной пленках, и конечный результат определяется строением обеих пленок комплекта, а не каждой из них в отдельности. В результате анализа всех возможных комбинаций строения, выполненного по схеме, приведенной на рис. 6, было установлено [14], что 216 возможных комбинаций расположения эмульсионных слоев негативно-позитивного комплекта пленок могут быть разбиты на 19 групп по степени потери резкости зеленого, красного и синего цветоделенных изображений. При этом степень потери резкости определяется общим числом эмульсионных слоев, в которых происходило рассеяние света при съемке и печати.

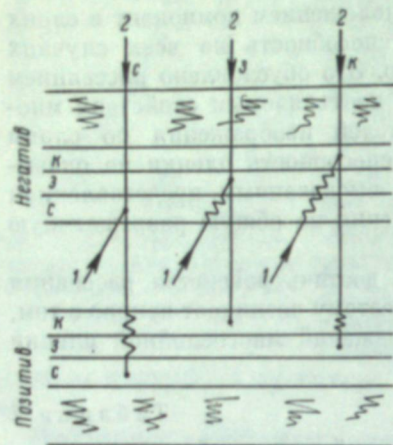


Рис. 6. Схема рассеяния света при цветной репродукции на многослойных пленках.

Стрелками показан путь света при съемке (1) и печати (2) для каждой зоны цветоделения (с, з, к); ломаной линией обозначено прохождение света в рассеивающих средах.

Совокупность этих чисел для зеленого, красного и синего цветоделенных изображений, расположенных в той же последовательности, образует индекс потери резкости. Наименьшую потерю резкости дают комбинации строения 1-й группы с индексом 0—2—4. Это пары пленок, у которых чувствительность слоев в негативе распределена в порядке: верхний слой — зеленый, чувствительный, средний слой — красочувствительный, нижний слой — синечувствительный, а краскообразующие компоненты позитива распределены в слоях в порядке: верхний слой — пурпурная, средний слой — голубая, нижний слой — желтая.

Комплект пленок ДС-5 и ЦП-7, как и пленки «Истмэнколор», относятся к 6-й группе с индексом 1—3—2, т. е. в них далеко не исчерпаны возможности улучшения резкости. Их строение схематически показано на рис. 6.

Пленки обычного строения, например комплект ДС-2 и ЦП-2, относятся к 12-й группе с индексом 2—4—0. Разрешающая способность соответствующих позитивных пленок приведена в табл. 3. Хотя комбинации строения относящиеся к 1—5-й группам, дают меньшую потерю резкости, чем пленки 6-й группы, их реализация затрудняется тем, что соответствующие негативные пленки требуют перераспределения спектральной светочувствительности по слоям, которое связано со значительным понижением чувствительности.

Вариант строения, выбранный для пленок «Истмэнколор-позитив» и ЦП-7, отвечает требованиям к позитиву 1-й группы. Поэтому дальнейшее

усовершенствование строения позитивной пленки должно состоять в уменьшении числа слоев (вариант с экспонированием нижнего слоя через подложку [15] вряд ли можно считать перспективным).

Помимо рационального выбора строения, существенное уменьшение рассеяния может быть достигнуто понижением рассеивающей способности эмульсионных слоев за счет уменьшения их толщины, размеров зерен, понижения коэффициента отражения и введения противоореольных красителей.

Условия образования ореолов отражения в фотографических материалах хорошо изучены, однако методы борьбы с ними не всегда достаточно совершенны.

В обычных цветных позитивных пленках с фильтрацией синего света применяется зеленый противоореольный слой, обладающий недостаточным большим поглощением в зеленой зоне спектра. Для пленок с расположением синечувствительного слоя внизу он вообще не годится. В этих случаях применяется черный сажевый слой, наносимый на обратную сторону подложки, или коллоидно-серебряный черный подслои. Такие слои достаточно равномерно поглощают свет по всему спектру. Недостатком сажевого слоя является необходимость применения специальных операций по его удалению при фотографической обработке.

Динамическая и статическая зернистость цветного изображения в настоящее время мало исследована. Можно сказать, что в основном она определяется зернистостью исходных эмульсий. Расширение размеров пятна по сравнению с размерами пятен восстановленного серебра [16] в обычных условиях обработки при применении высоких концентраций активных краскообразующих компонент незначительно, поэтому им можно пренебречь [12].

По-видимому, наибольшее значение имеет зернистость зеленого, наименьшее — синего цветоделенного изображений, но экспериментальные данные совершенно недостаточны. Отсутствуют также работы по влиянию зернистости частичных изображений позитива на частичные изображения негатива. Практически зернистость позитивных пленок невелика, и применение высокодисперсных эмульсий дает вполне удовлетворительные изображения.

В заключение следует заметить, что при цветной репродукции происходит потеря резкости на каждом из этапов процесса. Определение необходимой степени резкости позитива нуждается в оценке, основанной на конкретном анализе процесса в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- В. И. Успенский, А. Н. Иорданский, Н. П. Крашенинников, Ю. Б. Вилениский, Авт. свид. СССР, № 93322, 1950.
- Ю. Н. Гороховский, А. Я. Смирнов, В. И. Федотова, Журн. физ. химии, 14, 188, 1940.
- Л. Годовский, Англ. пат., 711488, 1951; Л. Маннес, Л. Годовский, Пат. США, 2304940, 1942.
- Ю. Б. Вилениский, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1, 3, 206, 1956.

Таблица 3
Разрешающая способность позитивных цветных пленок

Пленка	Разрешающая способность (мм ⁻¹)			
	общая	для областей спектра		
		синий	зеленый	красный
Истмэнколор . . .	350	134	350	196
ЦП-7	420	77	420	280
ЦП-3 бесфильтров				
вая	196	196	77	36
ЦП-2	103	103	48	25

- [5] К. Мейер и сотрудники, Пат. ГДР, 11597, 1956.
 [6] Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, И. М. Клинский, Н. Н. Бударина, и др. Авт. свид., СССР, № 105212, 1957, приоритет от 20 V 1956.
 [7] Jean E. Jones, Пат. США, 2816029, 1957.
 [8] Jean E. Jones, Пат. США, 2819964, 1958.
 [9] Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, Журн. прикл. химии, 26, 1, 89, 1953.
 [10] И. М. Клинский, Ю. Ш. Мошковский, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1, 39, 1956.
 [11] И. М. Клинский, Ю. Б. Виленский, М. К. Гречко, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1, 359, 1956.
 [12] Ю. Н. Гороховский, П. Х. Прусс, Журн. техн. физики, 25, 221, 1955.
 [13] С. В. Кравков. Цветовое зрение. Изд. АН СССР, М., 1951.
 [14] И. М. Клинский, Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 2, 198, 1957.
 [15] Z. A. Messen, Brit. cinematogr., 1, 1, 1956.
 [16] А. В. Бромберг, Ю. Б. Виленский, Журн. прикл. химии, 22, 128, 1949.

М. И. БАРО, Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ, З. И. ГРАЦИАНСКАЯ,
П. Х. ПРУСС

ЗАВИСИМОСТЬ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТНЫХ ПЛЕНОК ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ СЛОЕВ

1. Постановка вопроса

Разрешающая способность многослойных цветных материалов характеризуется рядом специфических черт. Ее повышение требует особых путей по сравнению с методами повышения разрешающей способности черно-белых материалов.

Еще в 1950 г. на совещании по цветной фотографии и кинематографии было показано [1, 2], что при формировании разрешающей способности многослойных материалов имеет значение не только фотографически активное светорассеяние в тех элементарных слоях, которые образуют изображение, но и фотографически неактивное рассеяние в выпележащих слоях излучений, действующих на нижележащие слои. Поэтому разрешающая способность среднего и особенно нижнего слоев в условиях многослойной пленки оказывается значительно меньшей, чем у этих же слоев в изолированном состоянии.

Позже [3] было установлено, что визуально определяемая разрешающая способность многослойного материала к белому свету определяется в основном разрешающей способностью того элементарного слоя, в котором образуется пурпурное изображение, визуальный яркостный контраст которого ввиду совпадения спектральных областей поглощения пурпурного красителя и наибольшей чувствительности свето-адаптированного глаза выше, чем у голубого и особенно желтого изображений, совместно образующихся при действии белого света. Было также установлено, что поскольку рассеяние света в выпележащих слоях понижает контраст оптического изображения объекта фотографирования, регистрируемого данным расположенным внизу слоем, разрешающая способность среднего и нижнего слоев, в отличие от верхнего слоя, в определенных границах мало зависит от контраста объекта (миры), апертуры съемочного объектива, качества фокусировки и даже от условий химико-фотографической обработки испытуемого материала.

На совещании по химии фотографических эмульсий в 1956 г. [4] мы обратили внимание на то значение, которое имеет для качества результирующего цветного изображения согласованность трех значений разрешающей способности этого изображения — для синего, зеленого и красного света в объекте. Было предложено понятие сбалансированности трех элементарных разрешающих способностей в позитивном изображении ($R_{из}^c, R_{из}^a, R_{из}^к$), определенным образом зависящей от соотношения последовательностей элементарных слоев в негативном ($R_{нег}^c, R_{нег}^a, R_{нег}^к$)

и позитивном ($R_{\text{поз}}^c, R_{\text{поз}}^a, R_{\text{поз}}^k$) материалах в отдельности. Соблюдение условия

$$R_{\text{из}}^c = R_{\text{из}}^a = R_{\text{из}}^k$$

устраняет возникновение цветной каймы вокруг тонких элементов цветного фотографического изображения.

Поскольку разрешающая способность многослойного материала всегда уменьшается от верхнего слоя к нижнему, повышение качества фотографического воспроизведения тонких элементов объекта фотографирования может быть достигнуто в основном двумя путями.

Во-первых, можно уменьшить светорассеяние в верхнем и среднем слоях каждого многослойного материала для тех спектральных групп излучений, которые действуют на средний и соответственно нижний слой. Это уменьшит градиент убывания контраста оптического изображения в многослойном материале от поверхности последнего к его основанию и приблизит разрешающую способность обоих нижних слоев к тем ее значениям, которые им присущи вне многослойного материала, в однослойных поливах.

Во-вторых, можно установить наиболее целесообразную в смысле характера спектральных зон чувствительности и цветности образующихся красителей последовательность элементарных слоев в комплекте негативного и позитивного материалов, при которой процесс позитивной печати будет в наименьшей степени влиять на разрешающую способность в позитивном изображении как едином целом.

Первый из этих путей рассматривается в сообщении З. И. Грацианской и П. Т. Сидоренковой [5], мы же сосредоточим свое внимание на втором пути.

2. Требования к комплектам пленок

С точки зрения интересующей нас задачи повышения общей разрешающей способности и улучшения резольвометрической сбалансированности цветного изображения, полученного на многослойных материалах, может существовать шесть приведенных в виде схемы на рис. 1 комплектов этих материалов, различающихся последовательностью слоев. Стрелки показывают, какой слой цветного негатива управляет в основном образованием изображения в каждом данном слое позитивной цветной пленки. Очевидно, что эти стрелки соединяют в каждом случае слой негатива, поглощения красителя которого лежит в заданной спектральной области, со слоем позитивного материала, чувствительным в той же области.

Из шести возможных вариантов первый в отношении резольвометрической сбалансированности является наихудшим, так как в этом случае наиболее высокоразрешенное изображение в верхнем слое негатива печатается на наиболее высокоразрешающий верхний слой позитивной пленки, а самое низкоразрешенное изображение в нижнем слое негатива — на низкоразрешающий же слой позитивной пленки. Наилучшим в том же отношении и при тех же индивидуальных разрешающих способностях каждого эмульсионного слоя, подитого в отдельности, будет шестой вариант, в котором высокоразрешенное верхнее негативное изображение будет печататься в хуже всего разрешающем нижнем слое позитивной пленки, а наименее разрешенное негативное изображение нижнего слоя — в верхнем слое позитивной пленки. Остальные варианты будут занимать промежуточное место, лишь в двух из них — четвертом и пятом — одна треть спектра будет воспроизводиться резольвометрически целесообразно (жирные стрелки).

Примем теперь, что для практики наиболее существенно высокое качество воспроизведения ахроматических и близких к ним деталей. Отме-

тим, с другой стороны, что наиболее высокая визуально определяемая разрешающая способность позитивного материала в целом (при экспонировании белым светом) будет иметь место тогда, когда обладающее наибольшим визуальным контрастом пурпурное изображение будет получаться в верхнем слое, голубое — в среднем, а визуально наименее контрастное — в нижнем. В таком случае наиболее высокоразрешенное и резольвометрически сбалансированное окончательное позитивное изображение должно получиться в конкретном случае, показанном справа в ниж-



Рис. 1. Возможные варианты строения комплектов многослойных пленок.

ней части рис. 1. Очевидно, что эти рассуждения не применимы к тому случаю, когда практика выдвинет специфические требования особо высокого разрешения в какой-либо отдельной зоне видимого спектра.

Наиболее распространенный тип комплекта цветных материалов (пленка—пленка и пленка—бумага) относится как раз к резольвометрически наихудшему первому варианту на рис. 1, к тому же с пурпурным красителем в среднем, а не в верхнем слое позитивного материала (рис. 1, слева внизу).

Сказанное выше приводит, в частности, к выводу, существенному для методики резольвометрических испытаний многослойных материалов. Оценка резольвограмм на негативном материале, экспонированных белым светом и, следовательно, образованных всеми тремя красителями, должна производиться в свете той трети видимого спектра, к которой чувствителен слой применяемого в сочетании с этим материалом позитивного материала, в котором образуется пурпурный краситель. Тогда оценка негативных резольвограмм глазом будет приближена к их оценке позитивным материалом.

3. Опыты с комплектами пленок

Резольвометрическому исследованию были подвергнуты семь конкретных комплектов многослойных пленок, отвечавших четырем вариантам строения (1-й, 3-й, 5-й, 6-й) из числа приведенных на рис. 1. Эти комплекты составлялись из десяти образцов пленок — шести негативных и четырех позитивных. В их числе три пленки были изготовлены на Казанском химическом заводе им. В. В. Куйбышева для данной работы: негативная Н-1 и позитивная П-1 для одной группы опытов и негативная Н-2 для другой. Испытание производилось на проекционном резольвометре ФСР-5 (числовая апертура объектива 0.1), дающем 27-кратное уменьшение и использующем

одну из двух штриховых пар абсолютного контраста: либо 25-полную пару с модулем 1.08 (минимальная частота штрихов в изображении — 28 мм⁻¹), либо 9-полную пару с модулем 1.125 (минимальная частота штрихов в изображении — 13.5 мм⁻¹, максимальная частота — 33 мм⁻¹). Экспонирование производилось как белым светом, так и светом, пропускаемым выделяющими синим, зеленым и красным светофильтрами [6].

Результаты этих испытаний представлены в табл. 1.

Резольвометрические свойства исследованных многослойных пленок при разных экспонирующих излучениях

Строение пленки (чувствительность слоя — цвет красителя)	Пленка	R (мм ⁻¹)			
		синий	зеленый	красный	белый
Синечувствительный — желтый	ДС-2 (образец I)	50	38	25	38
Зеленочувствительный — пурпурный	ДС-2 (образец II)	75	45	27	48
Красночувствительный — голубой	ЛН-2	50	35	21	30
	ЦП-1	90	40	30	48
	Истмэнколор-негатив [7]	80	65	27	48
Синечувствительный — пурпурный	Н-1 (образец I)	70	55	30	70
Зеленочувствительный — желтый	П-1 (образец I)	100	45	27	80
Красночувствительный — голубой					
Синечувствительный — желтый	Н-2	60	30	35	38
Зеленочувствительный — пурпурный					
Красночувствительный — голубой	ЦП-6	55	180	130	180
Синечувствительный — желтый	Истмэнколор-позитив [7]	45	200	120	200

Таблица

Резольвометрическая оценка позитивных изображений в разных комплектах пленок при разных экспонирующих излучениях

Вариант строения (рис. 1)	Пленка комплекта	R _{из} (мм ⁻¹)				R _{бел} ⁱ / R _{из} ⁱ		
		синий	зеленый	красный	белый	синий	зеленый	красный
1	ДС-2 (I) + ЦП-1	24	21	17	21	1.15	1.00	0.80
	ДС-2 (II) + ЦП-1	27	24	17	24	1.10	1.00	0.70
	ЛН-2 + ЦП-1	30	24	17	24	1.25	1.00	0.70
5	ДС-2 (I) + ЦП-6	35	30	20	30	1.20	1.00	0.65
	Истмэнколор-негатив + Истмэнколор-позитив	19	38	17	30	0.65	1.25	0.55
3	Н-1 (I) + П-1 (I)	50	45	24	55	0.90	0.80	0.45
	Н-2 + ЦП-6	30	30	27	30	1.00	1.00	0.90

Негативные резольвограммы для всех четырех типов экспонирования (в синем, зеленом, красном и белом свете) печатались в коллимированном пучке белого света при условиях очень тщательного контакта [8] на позитивной пленке, и полученные отпечатки резольвограмм служили для оценки разрешающей способности в позитивном изображении, т. е. для всего комплекта пленок в целом.

На рис. 2 показаны схемы строения изученных комплектов, а в табл. 2 — результаты самих испытаний комплектов в виде абсолютных значений разрешающей способности отдельных слоев R_{из}⁽ⁱ⁾ и относительных значений $\frac{R_{из}^{(i)}}{R_{бел}^{(i)}}$, характеризующих степень резольвометрической сбалансированности комплекта; идеальная сбалансированность отвечает случаю, когда

$$\frac{R_{из}^c}{R_{бел}^c} = \frac{R_{из}^z}{R_{бел}^z} = \frac{R_{из}^k}{R_{бел}^k} = 1.$$

Оказывается, что надлежащим сочетанием образцов многослойных пленок, входящих в комплект, действительно можно, с одной стороны, повысить общую (для белого света) разрешающую способность в позитивном изображении с обычных 20—30 до 55 мм⁻¹ при обычной степени резольвометрической сбалансированности элементарных изображений (вариант строения 3), а с другой стороны, довести степень сбалансированности слоев до 0.9—1.0 при обычной величине общей разрешающей способности (вариант строения 6). В обоих случаях это удалось сделать

с помощью предложенных нами комплектов пленок, из которых второй — Н-2+ЦП-6 — отвечает наилучшему возможному варианту строения согласно схеме, приведенной на рис. 1.

Таким образом, опыты подтверждают справедливость тех требований к путям улучшения резольвометрических свойств, которые были сформулированы выше.

4. Воспроизведение двумерных цветных деталей

В цветной фотографии возникает тот же вопрос, который часто ставят в отношении черно-белого фотографического изображения: в какой степени разрешающая способность, характеризующая воспроизведение фотографическим материалом одномерной решетки переменной ча-



Рис. 2. Строение исследованных комплектов многослойных пленок.

стоты, может служить надежным критерием качества фотографического воспроизведения многообразия двухмерных деталей, встречающихся в большинстве областей фотографической практики?

Специальные опыты по сопоставлению разрешающей и так называемой выделяющей способностей черно-белых фотографических материалов позволили с достаточной, как нам кажется, убедительностью ответить на этот вопрос [9]. Было решено провести аналогичное сопоставление разрешающей и выделяющей способностей цветных фотографических материалов как в отдельности для негативной стадии, так и для всего цветофотографического процесса в целом.

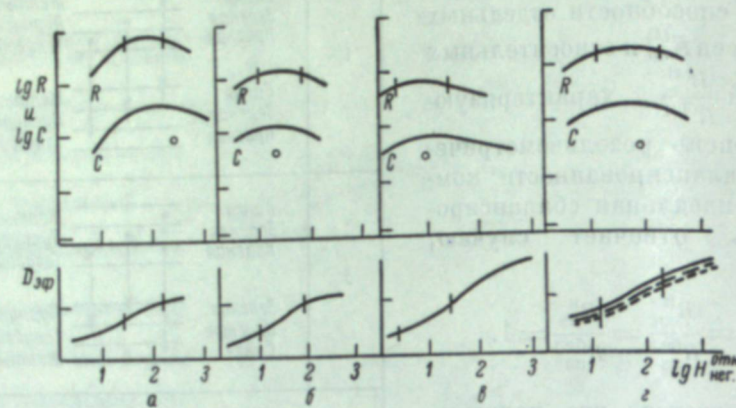


Рис. 3. Сопоставление разрешающей (R) и выделяющей (C) способностей многослойных пленок ДС-2 + ЦП-1.

В верхней части рисунка линиями показаны кривые зависимости R и C от негативной экспозиции при оценке по негативному изображению, кружками — значения C при оценке по позитивному изображению; в нижней части — показаны характеристические кривые негативной пленки и их границы, в пределах которых $R \geq 0.9 R_{\text{макс}}$. а — синий свет при экспонировании; б — зеленый свет; в — красный свет; г — белый свет.

С этой целью две негативные многослойные пленки — ДС-2 (образец II) и наша экспериментальная пленка Н-1 (образец, отличный от приведенного в табл. 1 и 2) — экспонировались обычным образом в двух проекционных резольвометрах. В одном из них (ФСР-5) устанавливалась штриховая мира абсолютного контраста для определения разрешающей способности R . Второй прибор представлял собой аналог первого прибора, но с масштабом уменьшения 5.1 вместо 27, в котором была установлена специальная мира с фигурками абсолютного контраста, описанная ранее [9] и служившая для определения выделяющей способности C . Последней понималась величина, обратная наименьшим линейным размерам оптического изображения, образующего определенную совокупность разнообразных по форме геометрически элементарных фигур определенного контраста, форма которых в их фотографическом изображении может быть правильно опознана в заданной доле случаев. В нашей работе этой долей было 80%.

Разрешающая и выделяющая способности определялись как в негативном, так и в позитивном изображении. Результаты сопоставления R и C представлены в табл. 3, а для одного из материалов более подробно на рис. 3. Надо заметить, что если негативные изображения мир с фигурками исследовались в широком диапазоне экспозиций, то позитивные изображения этих фигур получались путем печати лишь одной негативной резольвограммы, отвечавшей оптимальной негативной экспозиции. Оказывается, что разрешающая способность цветных материалов, визуально оцененная по негативному изображению, в три—четыре раза

Таблица 3
Сопоставление разрешающей и выделяющей способностей в негативных и позитивных изображениях при разных экспонирующих излучениях

Пленка	Определяемые величины	Негативное изображение				Позитивное изображение			
		синий	зеленый	красный	белый	синий	зеленый	красный	белый
ДС-2 (образец III) + ЦП-1	R	85	45	24	50	28	24	16	24
	C	18	14	8.5	14	9.0	7.0	5.5	8.0
	$\frac{R}{C}$	4.7	3.2	2.8	3.6	3.2	3.4	2.9	3.0
Н-1 (образец II) + П-1 (образец II) {	R	95	40	24	95	35	28	—	32
	C	24	10	7.0	24	12	8.5	—	13
	$\frac{R}{C}$	4.0	4.0	3.4	4.0	2.9	3.3	—	2.5

выше, чем выделяющая способность; будучи же оценена по позитивному изображению, она оказывается в два с половиной—три с половиной раза выше выделяющей способности. Эти цифры лишь немного отличаются от установленных для черно-белых материалов [9], где это отношение составляет в среднем два с половиной—три.

Таким образом возможность опознавания формы двухмерного цветного объекта по его окончательному фотографическому изображению возникает тогда, когда линейные размеры этого изображения по крайней мере в два с половиной—три раза превышают период предельно разрешаемой одномерной решетки.

Так же как и в случае черно-белых материалов, максимальная выделяющая способность негативных цветных материалов достигается при нескольких больших экспозициях, чем максимальная разрешающая способность. В этом сказывается различие зрительных задач, решаемых при рассмотрении двухмерного и одномерного объектов.

На вопрос о возможности использования понятия разрешающей способности в качестве меры геометрического качества воспроизведения мелких деталей многоцветных объектов многослойными цветными материалами можно, по-видимому, ответить положительно. Хотя наши опыты ограничивались цветными объектами лишь абсолютного контраста, можно думать, что то же заключение распространяется и на объекты низкого контраста, поскольку именно так получилось при изучении выделяющей способности черно-белых материалов, где имела возможность менять контраст миры в широких пределах.

Выводы

1. Выдвинуто понятие резольвометрической сбалансированности трех элементарных изображений в окончательном позитивном цветном изображении. Сформулированы те требования к строению пары многослойных пленок, образующих комплект, при которых в результирующем изображении может быть достигнуто наивысшее разрешение.
2. Изучены резольвометрические свойства семи комплектов многослойных пленок с различной последовательностью расположения слоев и показано, что выполнение выдвинутых требований действительно приводит к более высокому разрешению и к резольвометрической сбалансированности комплекта.

3. Сопоставлены разрешающая и выделяющая способности двух негативных многослойных материалов и полученных с них позитивных изображений. Показано, что эти величины приблизительно пропорциональны друг другу и что, следовательно, качество геометрического воспроизведения двухмерных цветных объектов может быть, по крайней мере в первом приближении, охарактеризовано величиной разрешающей способности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг, Сб. «Рефераты докладов на совещании по цветной фотографии и кинематографии», Изд. АН СССР, М., 1950.
- [2] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотографии, 11, 131—133, 1954.
- [3] Ю. Н. Гороховский, П. Х. Прусс, Журн. техн. физики, 25, 221—235, 1955.
- [4] Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс, Сб. «Рефераты докладов на совещании по химии фотографических эмульсий», Изд. АН СССР, М., 1956.
- [5] З. И. Грацианская, П. Т. Сидоренкова, Усп. научн. фотографии, VII, 29, 1962.
- [6] ГОСТ 2819—45. Фотографические материалы на прозрачной подложке. Методы резольнометрического испытания.
- [7] W. Hanson, W. Kisner, Journ. Soc. Mot. Pict. Tel. Eng., 61, 667—701, 1953.
- [8] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, Журн. научн. и прикладн. фотогр. и кинематогр., 345—355, 1959.
- [9] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, Журн. научн. и прикладн. фотогр. и кинематогр., 4, 276—284, 1959.

З. И. ГРАЦИАНСКАЯ, П. Т. СИДОРЕНКОВА

ВЛИЯНИЕ СВЕТОРАССЕЯНИЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛЕНКИ НА РАЗРЕШАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ НИЖЕЛЕЖАЩЕГО СЛОЯ

1. Введение

Неоднократно высказывалось предположение [1, 2, 6], что причиной низкого значения разрешающей способности среднего и нижнего слоев многослойной пленки является рассеяние верхним слоем света, активного для нижележащих слоев. Однако, насколько нам известно, прямых опытов по исследованию этого явления не производилось. Поэтому мы предприняли исследование связи между рассеянием света верхним слоем и разрешающей способностью нижележащего слоя.

Интенсивность света, рассеянного частицами мутной среды, зависит от спектрального состава падающего света, от размеров рассеивающих частиц и их оптических свойств, от концентрации частиц в данной среде. В нашем случае оптические свойства частиц и спектральный состав света постоянны, что позволяет рассматривать рассеяние света в основном в зависимости от размера частиц.

Интенсивность рассеянного света возрастает пропорционально квадрату объема частицы, когда ее линейные размеры значительно меньше длины волны падающего света, и пропорционально площади сечения, когда размеры частицы сравнимы с длиной волны. Кроме того, размер частиц определяет пространственное распределение интенсивности рассеянного света: в случае малых частиц оно симметрично относительно плоскости, перпендикулярной направлению падения света; в случае же больших частиц доля света, рассеиваемого вперед, увеличивается с ростом их размеров. Интенсивность света, рассеянного слоем в целом, равна сумме интенсивностей света, рассеянного отдельными частицами этого слоя. Такая аддитивность сохраняется до тех пор, пока имеет место однократное рассеяние, т. е. в разбавленных системах.

Таким образом, рассеяние света эмульсионным слоем, как и любой мутной средой, зависит от размера рассеивающих частиц и от концентрации их в слое.

2. Методика работы

Для определения влияния рассеяния света в верхнем слое на разрешающую способность нижнего слоя изготавливались пластинки с двумя эмульсионными слоями. Делалось это таким образом. На готовые зеленочувствительные пластинки «Изоорто» фабрики № 2 со светочувствительностью $S_{0.2}=45$ ед. ГОСТ и разрешающей способностью $R=60$ мм⁻¹ наносился слой той или иной специально синтезированной несенсибилизированной эмульсии. С этой целью были синтезированы семь аммиачных эмульсий со средними размерами микрокристаллов: I — 0.08 мк², II — 0.13 мк², III — 0.25 мк², IV — 0.37 мк², V — 0.63 мк², VI — 1.07 мк², VII — 1.15 мк².

Разбавлением водой или 5%-м раствором желатина и поливом различных количеств эмульсии на данную площадь достигались различные концентрации галоидного серебра и различные толщины слоев. Разрешающая способность нижнего слоя определялась с помощью проекционного резольвометра Бурмистрова [3], снабженного объективом ЧМ с апертурой 0.1. Чтобы избежать засветки верхнего нечувствительного слоя, экспонирование производилось за зеленым выделяющим светочувствительным фильтром [7]. Проявление резольвограмм производилось в проявителе № 1 по ГОСТ 2817-50 при 20°С в течение 6 мин. В тех случаях, когда верхний слой имел толщину 40 мк и выше, время проявления увеличивалось до 9 мин. Резольвограммы рассматривались в микроскоп при 35-кратном увеличении.

Для определения рассеяния света в верхнем слое эмульсия верхнего слоя специально поливалась на стеклянные пластинки в тех же количествах, что и на готовые сенсibilизированные пластинки. Общее светорассеяние мы определяли по методике П. Х. Прусс [4], характеризуя его величиной ΔD , равной разности между регулярной и интегральной оптической плотностями.

Для определения пространственного распределения интенсивности в пучке света (индикатрисы рассеяния), прошедшем через верхний слой, мы использовали визуальный гониофотометр Н. Э. Ритыня и В. П. Лазарева, описанный П. Х. Прусс и В. И. Максиной [5]. Индикатрисы рассеяния изображались в полярных координатах в логарифмическом масштабе.

3. Результаты опытов

Для исследования зависимости разрешающей способности нижнего слоя от светорассеяния в верхнем слое были поставлены две серии опытов. В первой серии опытов толщина верхнего слоя оставалась постоянной (20 мк), а поверхностная концентрация AgHal в слое менялась в пределах 0.2—13 г/м². Во второй серии опытов, наоборот, оставалась постоянной поверхностная концентрация галоидного серебра верхнего слоя, толщина же слоя менялась от 1.5 до 80 мк.

Результаты первой серии опытов приведены в табл. 1.

На рис. 1 приводятся построенные по данным табл. 1 кривые зависимости разрешающей способности нижнего слоя R_n от величины ΔD .

Таблица 1
Зависимость разрешающей способности нижнего слоя от величины ΔD и поверхностной концентрации галоидного серебра в верхнем слое

c_{AgHal} (г/м ²)	Эмульсия I $\bar{x} = 0.08 \text{ мк}^2$		Эмульсия III $\bar{x} = 0.25 \text{ мк}^2$		Эмульсия IV $\bar{x} = 0.37 \text{ мк}^2$		Эмульсия VI $\bar{x} = 1.07 \text{ мк}^2$		Эмульсия VII $\bar{x} = 1.15 \text{ мк}^2$	
	ΔD	R_n	ΔD	R_n	ΔD	R_n	ΔD	R_n	ΔD	R_n
0.2	0.10	50	—	—	—	—	0.22	44	—	—
0.4	0.20	42	—	—	—	—	—	—	—	—
0.6	—	—	0.62	38	0.54	34	—	—	0.18	46
0.8	0.40	30	—	—	—	—	0.44	41	—	—
1.3	—	—	1.24	28	1.24	28	—	—	0.32	41
1.6	0.68	20	—	—	—	—	—	—	—	—
2.6	—	—	2.12	22	2.28	24	—	—	0.64	38
3.0	1.75	16	—	—	—	—	—	—	—	—
5.2	—	—	2.44	18	2.46	22	1.06	33	—	—
6.3	2.48	15	—	—	—	—	—	—	1.34	32
10.4	—	—	2.58	17	2.58	20	2.00	24	—	—
13.0	2.56	13	—	—	—	—	—	—	2.32	25

Рассеивающим частицам различного размера соответствует различное пространственное распределение интенсивностей рассеянного света. Поэтому были изменены индикатрисы рассеяния эмульсионных слоев различной степени дисперсности. На рис. 2 изображены индикатрисы рассеяния верхних слоев, различающихся поверхностными концентрациями галоидного серебра и средними размерами эмульсионных кристаллов. На рис. 2, а изображены индикатрисы рассеяния эмульсионных слоев со средним размером кристаллов 0.08 мк², а на рис. 2, б — аналогичные кривые для слоев с $\bar{x} = 1.15 \text{ мк}^2$.

Из приведенного рисунка следует, что при одинаковых яркостях в направлении падающего пучка (ср. кривые 4, а и 3, б, а и 2, б) низкодисперсная эмульсия характеризуется значительно большими яркостями в направлениях, составляющих малые углы с направлением падающего пучка.

Степень размывания изображения будет зависеть от пространственного распределения лучей, участвующих в образовании изображения. Очевидно, что чем более узкий пучок участвует в образовании изображения, тем больше интенсивности в направлениях, составляющих малые углы с направлением падающего пучка, тем меньше будет размываться изображение штриха и тем больше будет разрешающая способность нижнего слоя.

На рис. 3 изображена кривая зависимости разрешающей способности нижнего слоя от величины $\lg \frac{B_{40}}{B_{50}}$, характеризующей форму индикатрисы рассеяния верхнего слоя, где B_{40} и B_{50} — яркости пучков рассеянного света под соответствующими углами к направлению падения. Угол 40° является наименьшим углом, под которым возможно произвести измерения с помощью нашего прибора. Угол 50° является некоторым средним отклонением, в котором яркости уже малы по сравнению с яркостью в направлении падающего пучка.

Кривая рис. 3 построена по данным для 23 двухслойных образцов, верхние слои которых различаются поверхностными концентрациями галоидного серебра и средними размерами эмульсионных кристаллов. В исследованном нами интервале средних размеров эмульсионных кристаллов (0.08—1.15 мк²) экспериментальные точки довольно хорошо ложатся на одну общую кривую.

Таким образом, разрешающая способность нижнего слоя при постоянной толщине верхнего слоя определяется формой индикатрисы рассеяния последнего. Разрешающая способность будет тем выше, чем более

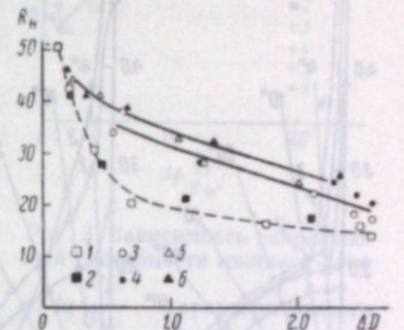


Рис. 1. Зависимость разрешающей способности нижнего слоя от величины, характеризующей общее светорассеяние верхнего слоя.

1 — $\bar{x} = 0.08 \text{ мк}^2$; 2 — $\bar{x} = 0.13 \text{ мк}^2$; 3 — $\bar{x} = 0.25 \text{ мк}^2$; 4 — $\bar{x} = 0.37 \text{ мк}^2$; 5 — $\bar{x} = 1.07 \text{ мк}^2$; 6 — $\bar{x} = 1.15 \text{ мк}^2$.

вытянутую форму имеет индикатриса рассеяния. Увеличение размеров эмульсионных кристаллов (при данной концентрации галоидного серебра в слое) или уменьшение концентрации галоидного серебра (при данной толщине слоя) приводит к изменению формы индикатрисы рассеяния.

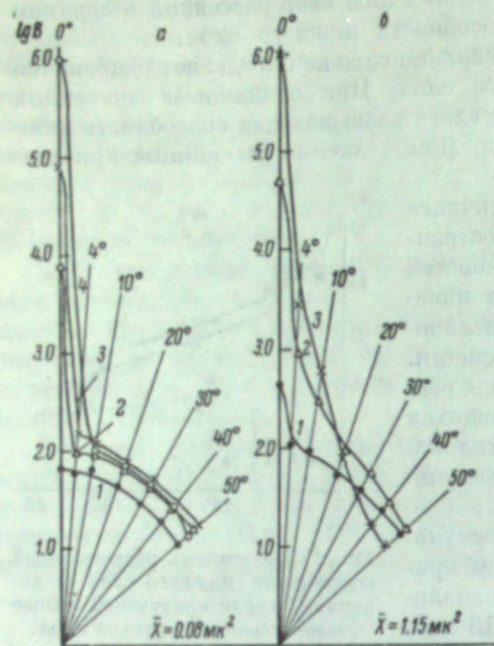


Рис. 2. Индикатрисы рассеяния эмульсионных слоев, различающихся поверхностными концентрациями AgHal и средними размерами эмульсионных кристаллов.

а — поверхностная концентрация AgHal (г/м²): 1 — 6.4, 2 — 3.2, 3 — 1.6, 4 — 0.4; б — поверхностная концентрация AgHal (г/м²): 1 — 10.4, 2 — 6.2, 3 — 1.3.

Из эмульсии V, с поверхностной концентрацией галоидного серебра 3.22 г/м² и толщинами 2.5 и 40 мк (табл. 2) были определены индикатрисы рассеяния. Оказалось, что более вытянутая индикатриса соответствует слою с большей толщиной. Однако, несмотря на это, разрешающая способность нижнего слоя уменьшилась с ростом толщины верхнего слоя.

Таблица

Изменение разрешающей способности нижнего слоя в зависимости от толщины верхнего слоя

Толщина верхнего слоя (мк)	Эмульсия II ($\bar{x} = 0.13 \text{ мк}^2$), $c_{\text{AgHal}} = 0.65 \text{ г/м}^2$		Эмульсия IV ($\bar{x} = 0.37 \text{ мк}^2$), $c_{\text{AgHal}} = 2.6 \text{ г/м}^2$		Эмульсия V ($\bar{x} = 0.63 \text{ мк}^2$), $c_{\text{AgHal}} = 3.22 \text{ г/м}^2$		Эмульсия VII ($\bar{x} = 1.15 \text{ мк}^2$), $c_{\text{AgHal}} = 2.6 \text{ г/м}^2$	
	ΔD	R_H	ΔD	R_H	ΔD	R_H	ΔD	R_H
1—1.5	—	—	—	—	2.07	38	—	—
2.5	0.53	38	—	—	1.90	36	—	—
5	0.57	34	2.34	35	1.48	34	0.91	—
10	0.58	30	2.27	32	1.42	32	0.86	—
20	0.56	30	2.28	22	1.30	24	0.60	—
40	0.57	28	2.35	13.5	1.24	21	0.61	—
80	—	—	2.24	—	1.11	—	0.53	—

Описанное несоответствие между разрешающей способностью нижнего слоя и характером светорассеяния в верхнем слое различной толщины приводит к понятию из следующих соображений. Тонкий пучок света, падающий на поверхность слоя, образует на его поверхности световое пятно малого размера. При прохождении через верхний эмульсионный слой пучок света вследствие рассеяния расширяется и на границе верхнего слоя с нижним слоем образует световое пятно большего размера. Светорассеяние верхних слоев при этом определяется, во-первых, различными толщинами слоев, индикатрисой рассеяния верхнего слоя и постоянной поверхности, во-вторых, длиной того пути, который проходит рассеянный свет до попадания на чувствительный к свету данного спектра фотопластинку.

В табл. 2 приведены результаты исследований, проведенные в опытах второй серии. Пучок света вследствие рассеяния расширяется и на границе верхнего слоя с нижним слоем образует световое пятно большего размера. Светорассеяние верхних слоев при этом определяется, во-первых, различными толщинами слоев, индикатрисой рассеяния верхнего слоя и постоянной поверхности, во-вторых, длиной того пути, который проходит рассеянный свет до попадания на чувствительный к свету данного спектра фотопластинку.

Приведенные данные показывают, что для всех исследованных эмульсий с увеличением толщины верхнего слоя разрешающая способность нижнего слоя падает, в то время как величина ΔD либо также уменьшается, либо не изменяется. Поэтому и было найдено соответствие между разрешающей способностью нижнего слоя и индикатрисой рассеяния верхнего.

Как и в предыдущей серии опытов, мы попытались связать наблюдаемое нами уменьшение разрешающей способности с изменением формы индикатрисы рассеяния верхнего слоя.

У двух слоев, изготовленных из эмульсии V, с поверхностной концентрацией галоидного серебра 3.22 г/м² и толщинами 2.5 и 40 мк (табл. 2) были определены индикатрисы рассеяния. Оказалось, что более вытянутая индикатриса соответствует слою с большей толщиной. Однако, несмотря на это, разрешающая способность нижнего слоя уменьшилась с ростом толщины верхнего слоя.

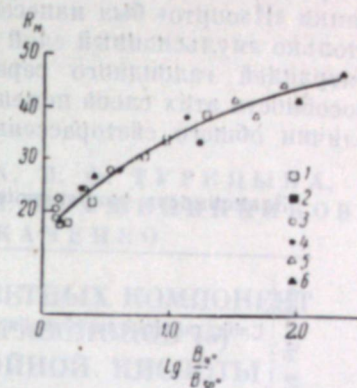


Рис. 3. Зависимость разрешающей способности нижнего слоя от $\lg \frac{B_{40}}{B_{50}}$, характеризующего форму индикатрисы рассеяния верхнего слоя.

1 — $\bar{x} = 0.08 \text{ мк}^2$; 2 — $\bar{x} = 0.13 \text{ мк}^2$; 3 — $\bar{x} = 0.25 \text{ мк}^2$; 4 — $\bar{x} = 0.37 \text{ мк}^2$; 5 — $\bar{x} = 1.07 \text{ мк}^2$; 6 — $\bar{x} = 1.15 \text{ мк}^2$.

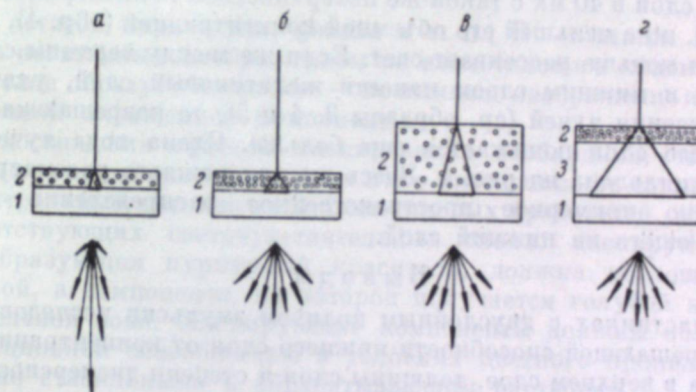


Рис. 4. Схема, иллюстрирующая расширение изображения на границе верхнего слоя с нижним.

1 — пластинки «Изоорто»; 2 — эмульсионный слой; 3 — желатиновый слой. а — поверхностная концентрация AgHal ниже нормальной, толщина слоя нормальная; б — поверхностная концентрация AgHal и толщина слоя нормальные (образец 3, табл. 3); в — поверхностная концентрация AgHal нормальная, толщина слоя больше нормальной (образец 4, табл. 3); г — поверхностная концентрация AgHal и толщина слоя нормальные, между верхним и нижним слоями введен промежуточный желатиновый слой (образец 5, табл. 3).

При различной же толщине верхнего слоя действуют оба фактора, причем, по-видимому, действие второго является более значительным, поскольку, как это следует из табл. 2, разрешающая способность нижнего слоя увеличивается и тогда, когда светорассеяние верхнего слоя возрастает. Прямым доказательством правильности этих соображений служит следующий опыт. На зеленочувствительные пластинки «Изоорто» были нанесены в одном случае слой эмульсии V (табл. 2) толщиной 40 мк и с поверхностной концентрацией AgHal 3.22 г/м², в другом же случае желати-

новый слой толщиной 35 мк и поверх него слой той же эмульсии с такой же поверхностной концентрацией, но толщиной 5 мк. Для сравнения на пластинку «Изоорто» был нанесен только желатиновый слой толщиной 40 мк и только эмульсионный слой толщиной 5 мк, с той же поверхностной концентрацией галоидного серебра. Результаты измерения разрешающей способности этих слоев помещены в табл. 3. Здесь же приведены значения величин общего светорассеяния ΔD из табл. 2.

Таблица 3
Зависимость разрешающей способности нижнего слоя от строения верхнего слоя:

№ образца	Слой, политые на сенсibilизированные пластинки	Толщина слоя (мк)	cAgHal (г/м ²)	ΔD верхнего слоя	R_H нижнего слоя (мм ⁻¹)
1	Без верхнего слоя	—	—	—	65
2	Желатиновый	40	—	—	65
3	Эмульсионный	5	3.22	1.48	34
4	Эмульсионный	40	3.22	1.24	22
5	{ Эмульсионный Желатиновый	{ 5 35	{ 3.22 3.22	{ 1.48 1.48	{ 22 15

Из этой таблицы следует, что нанесение желатинового слоя не уменьшает разрешающей способности пластинки (обр. 2). Эмульсионный слой толщиной 5 мк понижает разрешающую способность значительно меньше (обр. 3), чем слой в 40 мк с такой же поверхностной концентрацией галоидного серебра, но с меньшей его объемной концентрацией (обр. 4), несмотря на то, что он меньше рассеивает свет. Если же между верхним слоем тира с негативным изображением из азометинового красителя в желатиновом слое образуется «маска» — позитивное изображение из оставшейся части прошедших лучей (ср. образцы 3, 4 и 5), то разрешающая способность нижнего слоя понижается еще больше. Схема хода лучей в этих случаях представлена на рис. 4. Здесь же для каждого рассматриваемого образца дано примерное пространственное распределение светового пучка, падающего на нижний слой.

Выводы

1. На пластинках с двуслойным поливом эмульсии исследована зависимость разрешающей способности нижнего слоя от концентрации галоидного серебра в верхнем слое, толщины слоя и степени дисперсности эмульсионных кристаллов.
2. Установлено, что разрешающая способность нижнего слоя определяется двумя факторами, связанными со строением верхнего слоя: а) формой индикатрисы рассеяния света верхнего слоя и б) длиной пути, который рассеянный свет проходит до попадания на слой, чувствительный к свету данного спектрального состава, т. е. толщиной верхнего слоя.

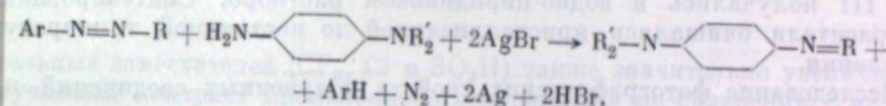
ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотогр., 11, 131, 1954.
- [2] Ю. Н. Гороховский, П. Х. Прусс, Журн. техн. физики, 25, 224, 1936.
- [3] Ф. Л. Бурмистров, Журн. техн. физики, 6, 1731, 1936.
- [4] П. Х. Прусс, Журн. техн. физики, 24, 50, 1954.
- [5] П. Х. Прусс, В. И. Максина, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематографии, 4, 259—268, 1959.
- [6] I. Eggert, W. Grossmann, Naturwissenschaften, 39, 132, 1952.
- [7] Свойства фотографических материалов на прозрачной подложке (Сенситометрический справочник), под ред. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилёва, Гостехиздат, М., 1955.

Б. С. ПОРТНАЯ, И. А. СОЛОВЬЕВА, Н. Ф. ТУРИЦЫНА,
И. ЛЕВКОЕВ, В. С. ЧЕЛЬЦОВ, М. В. КРАШЕНИННИКОВА,
Т. П. БОБКОВА, Т. Г. ТКАЧЕНКО

О СВОЙСТВАХ МАСКИРУЮЩИХ ЦВЕТНЫХ КОМПОНЕНТОВ АРИЛАЗОПРОИЗВОДНЫХ ПИРАЗОЛОНОВ (5) И АНИЛИДОВ 1, 2-ОКСИНАФТОЙНОЙ КИСЛОТЫ

Один из наиболее распространенных способов внутреннего маскирования цветного фотографического изображения при помощи окрашенных компонентов [1] основан на реакции арилazoпроизводных пиразолонов (5) с другими кетометиленовыми соединениями с продуктами окисления *n*-фенилдиаминных, приводящей к образованию азометинового красителя с элиминированием арилazогруппы [2]:



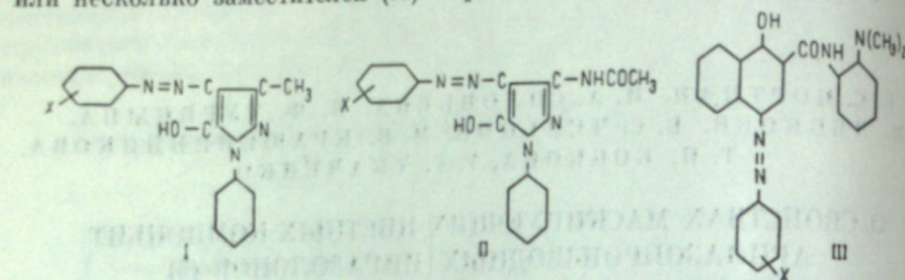
R — остаток пиразолона, фенола и т. п.; R' — алкил. В результате реакции в азометиновом слое образуется «маска» — позитивное изображение из оставшейся окрашенной компоненты.

Для достижения эффекта маскирования необходимо, чтобы область спектра поглощения окрашенных компонент и его интенсивность совпадали с вредным спектром светочувствительных слоев: маскирующая компонента, образующая пурпурный краситель, должна поглощать в сине-фиолетовой, а компонента, из которой получается голубой краситель, — в сине-зеленой зоне. Маскирующие компоненты должны обладать высокой реакционной способностью в условиях цветного проявления и быть достаточно стабильными к обрабатывающим растворам.

Применению окрашенных компонент для маскирования посвящена обширная патентная литература [3]. Однако в патентах определенные сведения о фотографических свойствах этих веществ отсутствуют. В статье Гиттума и сотрудников [2] приведены качественные данные о влиянии характера заместителей в различных положениях 4-арилazoпроизводных пиразолонов на их способность к образованию с продуктами окисления диаминных азометиновых красителей в растворах. Ими было показано, что 4-*n*-метоксифенилазо-1-фенил-3-метилпиразолон является малоактивным соединением, в то время как соответствующее 3-*α*-фенилбутироилпиразолонное производное легко образует азометиновый краситель. Введение электроотрицательных заместителей (NO₂, Cl или CN) в фенильную группу, находящуюся в положении 1, благоприятно сказывается на реакционной способности обоих соединений, а в 4-фенилазогруппу — снижает их активность.

В настоящей работе проводилось систематическое изучение зависимости фотографических свойств арилazoпроизводных пиразолонов и ани-

лидов 1,2-оксинафтойной кислоты от их строения. В первую очередь были синтезированы и исследованы диффундирующие арилазопроизводные 1-фенил-3-метил-(I), 1-фенил-3-ацетиламинопиразолона (II) и 2-диметиламиноанилида 1,2-оксинафтойной кислоты (III), содержащие один или несколько заместителей (X) в фенилазогруппе:



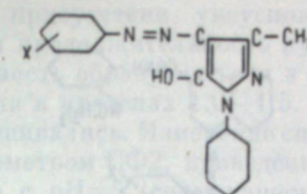
X—H: 2-, 3- или 4-CH₃; OCH₃; OH; COOH; SO₃H; 2- или 4-NAlk₂; 4-NHCOCH₃; N(CH₃)₂; NHC(=O)CH₃; N(CH₃)₂COCH₃; NHC(=O)CH₃; NO₂; 2,3-, 2,4-, 3,5- и 2,5-CH₃; 2,4-, 2,5- и 2,6-OCH₃; 4-OH-2-CH₃; 4-OH-2-Cl; 4-OH-3-OCH₃; 4-OH-5-COOH; 2,4,5-CH₃; 2,3-CH₃-4-OH; 2-Cl-4-OH-5-COOH и др.

Синтез азокрасителей проводился путем сочетания равномолекулярных количеств исходных диффундирующих пурпурных и голубых компонентов с соответствующими диазосоединениями в щелочной (водной или спиртоводной) среде. Некоторые дизамещенные арилазопроизводные III получались в водно-пиридиновом растворе. Синтезированные азокрасители очищались кристаллизацией до постоянной температуры плавления.

Исследование фотографических свойств полученных соединений проводилось путем цветного проявления экспонированных сенситограмм на черно-белой позитивной киноплёнке МЗ Шосткинского химического завода (эм. 99, ось 9451) в течение 8 мин. при 20° в диэтил-*n*-фенилендиаминном проявителе, содержащем в 1 л 2.75 г сульфата диамина, 2.0 г безводного сульфата натрия, 21 г безводной соды, 4 г едкого натра, 2 г гипосульфита калия, 2 г динатриевой соли этилендиамина, тетрауксусной кислоты и 140 мл этилового спирта и 0.0025–0.005 г компоненты. Арилазопроизводные интенсивно окрашивали эмульсионный слой и не вымывались из него при водной промывке. Поэтому проявленные сенситограммы промывались по 5 мин. в воде и останавливающим проявителем (100 г KН₂РO₄ в 1 л), после чего обрабатывались водным (14% спирта, производные оксинафтойной кислоты) раствором щелочи (4 г NaOH и 5 г Na₂CO₃ в 1 л) до полного вымывания окрашенной компоненты (5–20'). Затем они отмывались в воде (5'), отбеливались (5') в растворе [в 1 л 50 г K₃Fe(CN)₆ и 50 г NaCl], вновь промывались водой (5'), фиксировались в растворе (в 1 л 250 г тиосульфата натрия) и окончательно промывались водой (2').

Определение оптических плотностей проводилось цветным денситометром ЦД-4 для пурпурных красителей с зеленым светофильтром, а для голубых — с красным. Результаты исследования цветных сенситограмм приведены в табл. 1–3.

Как видно из таблиц, замена атома водорода активной метиленовой группы компонент на фенилазогруппу во всех случаях резко снижает активность. Можно было предполагать, что электроположительные заместители в арилазогруппе должны повышать реакционную способность этих соединений при цветном проявлении, а электроотрицательные — снижать ее. Действительно, оказалось, что введение электроположительных заместителей [CH₃, OCH₃, (CH₃)₂N и особенно OH] в пара-положении фенилазогруппы оказывает благоприятное действие. Однако в случае производных 3-алкилпиразолонов присутствие некоторых электроот-

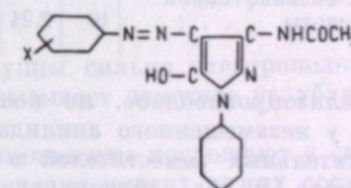


Заместители в фенилазогруппе (X)	$S_1(D-D_0)$	τ	D_0	Заместители в фенилазогруппе (X)	$S_1(D-D_0)$	τ	D_0
OCH ₃	2.8	0.19	0.12	4-OH	4	0.22	0.09
OH	7.0	0.44	0.12	2-Cl-4-OH	12	0.95	0.12
N(CH ₃) ₂	8.0	0.98	0.25	3-COOH-4-OH	11	0.74	0.15
NHC(=O)CH ₃	8.5	0.86	0.40	2-Cl-4-OH-5-COOH	11	0.77	0.19
N(CH ₃) ₂ COCH ₃	7.5	0.20	0.09	1-фенил-3-метилпиразолон	11	0.96	0.12
Cl	5.5	0.56	0.12				
CF ₃	3.5	0.54	0.12				
SO ₃ H	6.0	0.60	0.15				
NO ₂	3.5	0.18	0.09				
1-фенил-3-метилпиразолон	11.0	0.83	0.19				

ательных заместителей (CF₃, Cl и SO₃H) также значительно увеличивало получаемый контраст проявленного изображения по сравнению с незамещенным фенилазопроизводным. Это явление возможно связано с повышенной реакционной способностью приведенных соединений и, следовательно, их большей адсорбируемостью на галогенидном серебре, а также лучшей диффузией некоторых из них в желатине. Дополнительное введение *n*-оксифенилазогруппы атома хлора, карбоксильной или метоксигруппы не только снижает активность этих окрашенных компонент; однако она остается близкой к исходному 1-фенил-3-метилпиразолону.

В случае производных 1-фенил-3-ацетиламинопиразолона электронодо-активные заместители в пара-положении фенилазогруппы (OH-группа) оказывают более благоприятное влияние на реакционную способность. Ряд этих соединений в данных условиях цветного проявления оказался более активным по сравнению с исходным 1-фенил-3-ацетиламинопиразолоном.

У арилазопроизводных анилида 2-оксинафтойной кислоты (III) введение в фенилазогруппу электроположительных заместителей, хотя и увеличивает реакционную способность, но их влияние меньше, чем в случае соединений строения I и II. Наиболее активно также 4-окси-



Заместители в фенилазогруппе (X)	$S_1(D-D_0)$	τ	D_0
H	Следы изображения		
4-OH	5.8	0.50	0.19
4-N(CH ₃) ₂	11.5	0.29	0.15
4-NHC(=O)CH ₃	3.5	0.15	0.09
4-Cl	Следы изображения		
2-Cl-4-OH-5-COOH	4.9	0.76	0.22
1-фенил-3-ацетиламинопиразолон	7.0	0.32	0.12

Таблица 2

Таблица

Заместители в арилазо- группе (X)	$S_1(D - D_0)$	τ	D_0	Заместители в арилазо- группе (X)	$S_1(D - D_0)$	τ	D_0
H	3.5	0.93	0.11	4-OH	9	1.62	0.1
2-CH ₃	4.0	0.70	0.09	2-CH ₃ -4-OH	8.8	1.50	0.1
3-CH ₃	3.5	0.94	0.11	3-CH ₃ -4-OH	7.4	1.84	0.1
4-CH ₃	3.0	0.82	0.11	2,3-CH ₃ -4-OH	3	1.23	0.1
3-OCH ₃	2.5	1.12	0.09	3-OCH ₃ -4-OH	13.5	1.43	0.1
4-OCH ₃	3.4	1.25	0.14	2-Cl-4-OH	8	1.52	0.1
2,4-OCH ₃	8	1.33	0.15	3-COOH-4-OH	14	1.23	0.1
4-OH	14	1.69	0.10	2-Cl-5-COOH-4-OH	16	1.47	0.1
4-NHCOCH ₃	14	1.33	0.10	2'-диметиламиноанилид 1,2-оксинафтойной кис- лоты	9	2.33	0.1
4-N(CH ₃) COCH ₃	10	1.23	0.09				
2-Cl	12.5	0.53	0.10				
4-Cl	7.5	0.58	0.07				
4-SO ₃ H	12.5	0.31	0.07				
4-COOH	11.0	0.45	0.06				
2'-диметиламиноанилид 1,2-оксинафтойной кислоты	10	2.24	0.12				

Однослойные пленки с желатиновым слоем, содержащим одну из этих компонент (10 г на 1 л раствора желатины), купались в растворе различных диазосоединений в присутствии уксуснокислого натрия, причем концентрация растворов и продолжительность купания подбирались с тем расчетом, чтобы плотность образующегося в слое азокрасителя в максимуме поглощения лежала в пределах 1.0—1.5. Затем пленки тщательно отмывались водой и высушивались. Измерение спектров поглощения полученных слоев спектрофотометром СФ2, проведенное до и после обработки отбеливающим раствором с pH=5 (содержащем 100 г K₃Fe(CN)₆ и 15 г H₂PO₄ в 1 л), показало, что большинство арилазопроизводных 3-гептацил- и 3-стеароиламинопиразолонов имеют благоприятную в отношении искривления кривую поглощения с максимумом около 400—420 мкм.

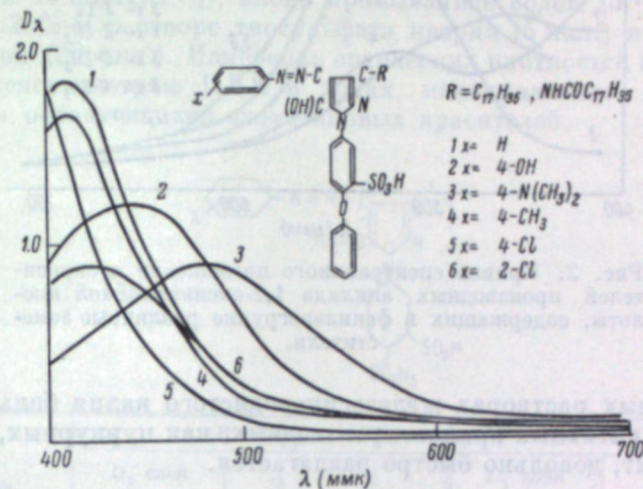


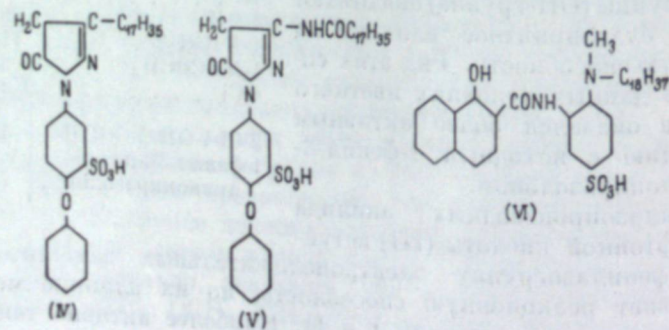
Рис. 1. Кривые спектрального поглощения азокрасителей производных пиразолона (5), содержащих в фенилазогруппе различные заместители, в желатиновом слое.

Фенилазопроизводное, но получаемый с ним контраст заметно ниже, чем у незамещенного анилида. Присутствие дополнительных электрокраски этих красителей (рис. 1). Исследованные маскирующие голубые компоненты поглощают в синеватой и зеленой зонах. Спектры поглощения многих из них состоят из двух полос, интенсивность которых зависит от природы и положения заместителей в арилазогруппе (рис. 2 и 3).

Особенно резкое увеличение интенсивности поглощения в синеватой части спектра наблюдается у 2-метил- и 2-хлорфенилазопроизводных, что, возможно, связано с пространственными препятствиями плотному строению молекул этих красителей. Те же заместители в положениях 3 и 4 фенилазогруппы вызывают лишь некоторый батохромный сдвиг максимумов поглощения красителей.

Что касается стабильности в отбеливающих растворах с железосиневатым калием (при pH=5), то из арилазопиразолонов наименее устойчивыми оказались производные, содержащие в пара-положении диалкиламиногруппу (остаточная плотность 10%). Устойчивость *n*-оксипроизводных при введении в фенилазогруппу атома хлора и карбоксильной группы значительно возрастает (от 66—70 до 90—100%).

Большинство исследованных голубых маскирующих компонент в отбеливающем растворе с pH=5 достаточно стабильно (уменьшение плотности красителя менее 20%). В некоторых случаях (4-окси-, 2,4-диметокси-2-диметиламинозамещенные) стабильность несколько меньше (остаточ-



ная плотность красителя 70—76%). Малоустойчивыми оказались 4-ацетамино-, 4-диэтиламино- и 2-хлор-4-окси-5-карбоксифенилазопроизводные (остаточная плотность соответственно 47,68 и 40%). Следует отметить

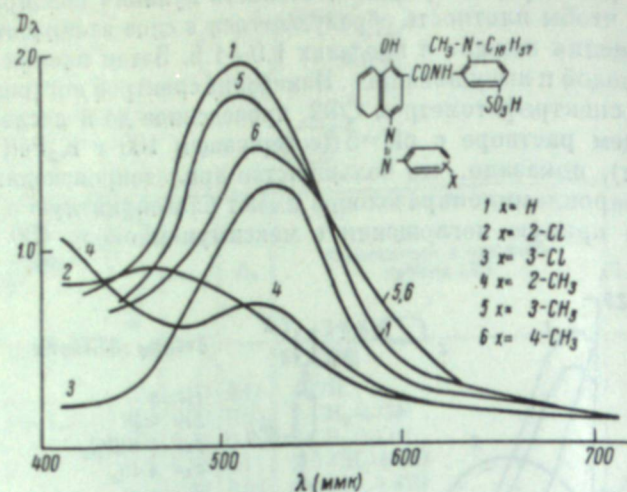


Рис. 2. Кривые спектрального поглощения азокрасителей производных анилида 1,2-оксинафтойной кислоты, содержащих в фенилазогруппе различные заместители.

что в щелочных растворах железосинеродистого калия большинство следованных активных арилазопроизводных, как пурпурных, так и голубых компонент, довольно быстро разлагается.

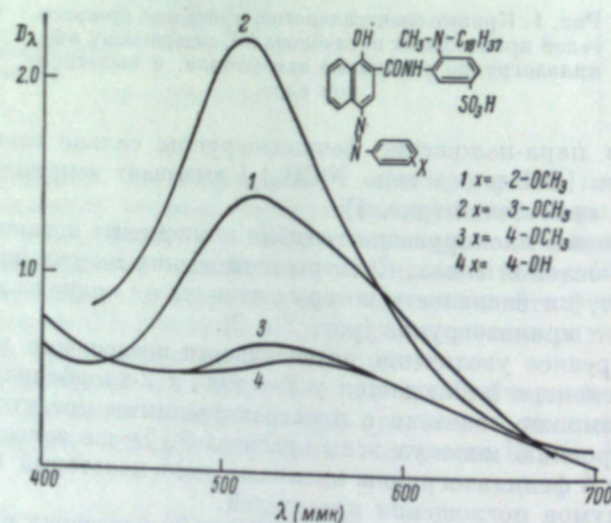


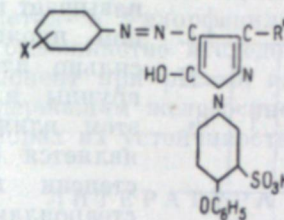
Рис. 3. Кривые спектрального поглощения азокрасителей производных анилида 1,2-оксинафтойной кислоты, содержащих в фенилазогруппе различные заместители.

Недиффундирующие маскирующие компоненты — арилазопроизводные компонент IV, V и VI — были получены аналогично соответствующим диффундирующим соединениям.

Для исследования их фотографических свойств водно-щелочной растительности (иногда с добавлением метилового или этилового спирта) в

количестве около 5 г на 1 л неразбавленной эмульсии вводился в разбавленную водой (1 : 1) йодобромосеребряную эмульсию тип 10 (сенситизированную для пурпурных компонент — 3,3',9-триэтил-5,5'-дифенилокарбодиазотом, а для голубых — 3,3'-диэтил-4-кето-4',5'-дифенил-5/3'-этил-6'',7''-тетраметилбензотиазолиниден-2''-α-фенилэтилен/тиазолинотиазолоцианиниодидом). Полированные слои экспонировались в сенситометре X и Д за желтым или красным светофильтром, а полученные сенситограммы проявлялись (6 мин.) при 20° в обычном диэтил-п-фенилендиаминном проявителе [4], промывались в воде (5 мин.), обрабатывались (5 мин.) в останавливающем растворе (100 г KH_2PO_4 в 1 л), промывались водой (5 мин.), отбеливались (в растворе с pH=5, содержащем в 1 л 100 г $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ и 15 г $\text{KH}_2(\text{PO}_4)$), вновь промывались водой (5 мин.), фиксировались в 25%-м растворе тиосульфата натрия (5 мин.) и снова промывались водой (20 мин.). Измерение оптических плотностей производилось цветным денситометром ЦД-4 в зонах максимального спектрального поглощения образующихся азометиновых красителей.

Таблица 4



Заместители в арилазогруппе (X)	R'—C ₁₇ H ₃₅					R'—NHCOC ₁₇ H ₃₅				
	D _λ слоя при λ (ммк)		нелет S ₁ (D - D ₀)	γ	D ₀	D _λ слоя при λ (ммк)		нелет S ₁ (D - D ₀)	γ	D ₀
	500	540				500	540			
окрашенная компонента	—	—	175	1.75	0.15	—	—	240	2.03	0.08
... ..	0.34	0.14	9	0.30	0.21	0.58	0.15	Следы изображения		
OH	1.3	0.4	24	0.98	0.08	0.65	0.22	75	1.08	0.10
OH	0.30	0.12	16	0.52	0.19	0.25	0.12	65	0.31	0.11
NHCOCH ₃	1.35	0.32	23	0.40	0.17	0.56	0.20	13	0.32	0.18
SO ₃ H	0.40	0.14	9	0.53	0.21	0.25	0.07	35	0.31	0.12
CF ₃	0.22	0.09	Следы изображения			0.14	0.01	Следы изображения		
окрашенная компонента	—	—	250	1.94	0.18	—	—	160	2.10	0.13
OH-3-OCH ₃	1.0	0.62	16.5	0.72	0.31	1.70	0.66	24	0.91	0.20
OH-3-COOH	1.15	0.33	16	1.48	0.37	2	0.57	20	1.42	0.12
OH-2-Cl-5-COOH	1.8	0.30	52	1.65	0.21	0.56	0.08	110	0.91	0.15
Cl-5-COOH	—	—	60	0.73	0.16	—	—	180	0.23	0.10
OH-2-Cl-5-COOH	—	—	57	0.86	0.12	—	—	100	0.85	0.18

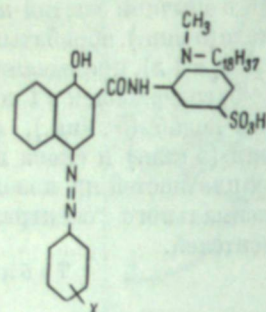
Рассмотрение табл. 4 и 5 показывает, что зависимость реакционной способности, а также других свойств диффундирующих окрашенных компонент от их строения в основном подтвердилась и на соответствующих недиффундирующих соединениях.

Однако полного совпадения закономерностей, как и можно было ожидать, не наблюдалось. Характеристики светочувствительных слоев, со-

держат не диффундирующие компоненты, сильно зависят от их спектрального поглощения, которое в ряде случаев распространяется на область сенсibilизации соответствующих эмульсий.

Значительным поглощением в зоне 600—650 мкм 2',4'-диметокси-пиразолопроизводного VI объясняется, например, незначительная светочувствительность панхроматических слоев, содержащих эту компоненту (табл. 5). Некоторые из них оказывают также десенсибилизирующее действие и влияют на процесс оптической сенсibilизации. Как в случае диффундирующих соединений, вступление электронодонорных заместителей в фенилазогруппу маскирующих компонент пиразолонового ряда, как правило, повышает их активность при цветном проявлении; в особенности сильно влияет вступление оксигруппы в пара-положение. При этом влияние заместителей проявляется в значительно большей степени в ряду 4-арилазо-стеариламинопиразолонов, чем в случае 3-гептадецилпроизводных.

Таблица 5



Заместители в арилазогруппе (X)	D _λ слой (ммк)		ε ₁₀₀ (D - D ₀)	τ	D ₀
	640	600			
Неокрашенная компонента VI	—	—	65	1.88	0.20
4-SO ₃ H	0.18	0.46	} Следы изо- бражения	1.53	0.14
2,4-(OCH ₃) ₂	1.23	2.08			
2-CH ₃ -4-OH	0.15	0.22	17	1.53	0.14
Неокрашенная компонента	—	—	65	1.31	0.14
2,3-(CH ₃) ₂ -4-OH . .	0.28	0.32	12.0	0.79	0.16
2-Cl-4-OH-5-COOH	0.23	0.26	41	0.93	0.16

или метильной группы в положение 2'-арилазогруппы стабильность этих соединений заметно повышается, причем их спектральное поглощение становится более благоприятным.

Следует отметить, что в обычных условиях цветного проявления светочувствительные слои с указанными маскирующими пурпурными и голубыми компонентами имеют все же несколько пониженные величины светочувствительности и контраста по сравнению со слоями, содержащими соответствующие неокрашенные компоненты. Однако некоторые из синтезированных соединений могут быть использованы для получения многослойных цветных негативных и контративных кинофотоматериалов.

Выводы

1. Исследована зависимость цветофотографических свойств некоторых арилазопроизводных пиразолонов и анилидов 1,2-оксинафтойной кислоты от природы и положения заместителей в арилазогруппе.
2. Установлено, что фенилазопроизводные пиразолонов и анилидов 1,2-оксинафтойной кислоты являются значительно менее реакционноспособными соединениями в условиях цветного проявления, чем исходные пурпурные и голубые компоненты. Вступление электроположительных заместителей в фенилазогруппу несколько повышает реакционную способ-

ность компонент, причем наиболее благоприятное влияние оказывает оксигруппа в положении 4. Электроотрицательные заместители в фенилазогруппе маскирующих голубых компонент вызывают резкое снижение активности, а в случае производных 3-алкилпиразолона могут оказывать благоприятное влияние. Некоторые из полученных соединений могут быть использованы для изготовления негативных и контративных маскирующих цветных кинофотоматериалов.

3. Показано, что арилазопроизводные 3-алкил- и 3-ациламинопиразолонов обычно поглощают лучи сине-фиолетовой зоны (максимальное поглощение 400—420 мкм). Вступление сильноэлектронодонорных заместителей в фенилазогруппу вызывает значительное углубление их окраски. Спектры поглощения маскирующих голубых компонент производных анилидов 1,2-оксинафтойной кислоты охватывают сине-фиолетовую и частично зеленую часть спектра, и во многих случаях состоят из двух полос, интенсивность которых может сильно изменяться в зависимости от природы и положения заместителей в арилазогруппе. Особенно резкое увеличение интенсивности поглощения в сине-фиолетовой зоне имеет место в случае 2-метил- и 2-хлорфенилазопроизводных.

4. Установлено, что большинство исследованных маскирующих пурпурных и голубых компонент при pH=5, как правило, достаточно стабильны к растворам, содержащим железосинеродистый калий. В щелочных отбеливающих растворах их устойчивость сильно снижается.

ЛИТЕРАТУРА

- W. Hanson, P. Vittum, P. S. A. Journal, 13, 94, 1947; C. A., 41, 2649, 1947; W. Hanson, J. Op. Soc. Am., 40, 166, 1950; C. A., 44, 4807, 1950.
P. Vittum, G. Sawdey, R. Herdle, M. Scholl, J. Am. Chem. Soc., 72, 1533, 1950.
D. Glass, P. Vittum, A. Weissberger (Eastman Kodak Co.), Пат. США, 2453661, 1948 (C. A., 43, 4591, 1949); 2455169, 1948 (C. A., 43, 4164, 1949); 2455170, 1948 (C. A., 43, 4164, 1949); 2521908, 1950 (C. A., 45, 8383, 1951); A. Weissberger, B. Graham, P. Vittum (Eastman Kodak Co.), Пат. США, 2657134, 1953 (Zbl., 1956, 2635), 2725292, 1955; C. A., 50, 4685, 1956; B. Graham (Eastman Kodak Co.), Пат. США, 2694703; C. A., 49, 3706, 1955; B. Graham, J. Williams (Eastman Kodak Co.), Пат. США, 2706684, 1955 (Zbl., 1956, 6561); D. Glass, P. Vittum, A. Weissberger (Eastman Kodak Co.), Анг. пат., 586211, 1947; Герм. пат., 837958, 1952 (Zbl., 1955, 11720); Kodak N. V., Датск. пат., 71530, 1953; C. A., 47, 6804, 1953; 71532, 1953; C. A., 47, 1805, 1953; 76664, 1953; N. Heimbach (Gen. Anil. a. Film. Corp.), Пат. США, 2584349, 1952; C. A., 46, 3434, 1952.
К. Л. Мертц. Цветная фотография. Госкиноиздат, М., 1950.
Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турицына, И. М. Клиникий, Ю. Б. Виленский, И. И. Левкоевич, Авт. свид., СССР, № 122676, 1959.

Э. Б. ЛИФШИЦ, С. В. НАТАНСОН, Н. И. ЛЕВКОЕВ
О ВЛИЯНИИ ЦВЕТНЫХ НЕДИФФУНДИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТ
НА ПРОЦЕСС ОПТИЧЕСКОЙ СЕНСИБИЛИЗАЦИИ
ГАЛОИДОСЕРЕБРЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Сведения о влиянии цветных недиффундирующих компонент, вводимых в эмульсию для цветных кинофотоматериалов, на сенсibilизирующее действие красителей в течение ряда лет ограничивались патентными действиями констатационного характера [1—6], и лишь в последние годы появились работы, посвященные исследованию этого вопроса [7—9, 14, 15].

Нами было показано, что подавление сенсibilизирующего действия красителей цветными недиффундирующими компонентами определяется в основном десорбцией сенсibilизаторов с поверхности галоидного серебра, обусловленной адсорбционным вытеснением их компонентами [7, 9]. При этом отмечалось, что наличие компоненты в адсорбционном слое может оказывать влияние не только на состояние красителя, оставшегося на галоидном серебре после десорбции, но и затруднять или, наоборот, облегчать передачу поглощенной энергии решетке галоидного серебра [7, 9—12].

Было установлено, что соединения типа цветных недиффундирующих компонент вызывают значительные изменения спектров поглощения в растворах полиметиновых красителей, а именно подавление H -(D)-полосы и смещение основной полосы абсорбции в длинноволновую область на 10—25 мкм (K -полоса), а в случае некоторых карбоцианинов и появление J -полосы [8].

При введении компонент в эмульсию, сенсibilизированную карбоцианиновыми красителями, в спектрах сенсibilизации во многих случаях наблюдалось уменьшение интенсивности H -(D)-полосы. В случае карбоцианинов, обладающих склонностью к сенсibilизации 2-го рода, в первую очередь подавлялась J -полоса [7], что указывает на присутствие этих агрегатов в адсорбционном слое по отношению к компоненту.

Специальными опытами было показано, что как депрессирующее действие цветных компонент, так и возникновение в их присутствии K -полосы в спектрах поглощения водных растворов красителей обусловлены в основном наличием в их молекуле высокомолекулярного алифатического остатка [7, 9]. Однако между компонентоустойчивостью сенсibilизаторов и их способностью к взаимодействию с компонентами в растворе никакой сколько-нибудь определенной зависимости не наблюдалось [7, 9].

В статье Ю. Н. Гороховского и З. И. Грацианской [14], применив для изучения влияния компонент на процесс оптической сенсibilизации метод спектросенситометрического определения светочувствительности, перечисляются факторы, которые могут обуславливать изменение сенсibilизирующего действия красителей в присутствии компонент. Приводятся данные, подтверждающие наличие взаимодействия сенсibilизаторов с компонентами в растворе и в адсорбционном слое, авторы не приводят экспериментальных данных, подтверждающих наличие взаимодействия сенсibilизаторов с компонентами на поверхности эмульсионных микрокристаллов в реальной фотохимической эмульсии.

К. Мейер [15] на основании сопоставления величин светочувствительности слоев, сенсibilизированных оптимальным количеством красителей, обладающих различной компонентоустойчивостью и содержащих компоненту, и фотографических слоев, чувствительных в 10—15 раз меньшими количествами красителя, независимо от нас также пришел к заключению о том, что причиной подавления цветными компонентами сенсibilизирующего действия красителей является десорбция последних с поверхности эмульсионных микрокристаллов.

Представляло интерес выяснить, какое значение в понижении сенсibilизирующего действия красителей имеет депрессирующее влияние цветных компонент и перераспределение агрегатных состояний сенсibilизаторов в адсорбционном слое.

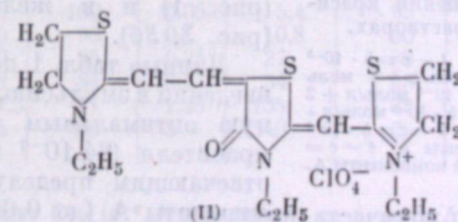
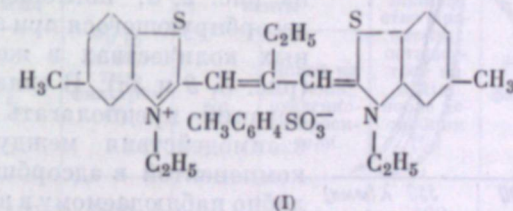
В настоящей работе эти вопросы были исследованы на примере красителей, обладающих различной компонентоустойчивостью и склонностью к полимеризации. С этой целью изучалось влияние компонент на сенсibilизирующее действие, десорбцию и спектры поглощения подобных красителей в эмульсии и на галоидном серебре.

Для изучения влияния цветных компонент на сенсibilизирующее действие красителей использовались ранее описанные методы [7—9]. Для некоторых случаев при помощи спектросенситометра ИСП-73 и денситометра ДФЭ-10 были получены кривые спектрального распределения светочувствительности сенсibilизированных фотографических слоев, составленных из галоидного серебра и красителя. Для каждой длины волны светочувствительном серебре после десорбции, но и затруднять или, наоборот, облегчать передачу поглощенной энергии решетке галоидного серебра [7, 9—12].

Сенсibilизированные микрокристаллы, в значительной степени основанные от желатины, получались двухчасовым центрифугированием эмульсии при 37—40° С и тщательным сливанием центрифугата который использовался для определения количества десорбированного красителя.

Для определения количества красителя, оставшегося на галоидном серебре, последнее растворялось в растворе тиосульфата натрия, из которого краситель, так же как и из желатинового центрифугата, экстрагировался n -бутанолом при 40—45°.

В работе были исследованы 3,3'-диэтил- и 3,3'-ди- β -карбоксиэтил-5,5'-диметил-9-этилтиакарбоцианины (I и II), тиазолинородацианины (III), 3,3'-диэтил-5,5'-дибензилтиодиазол(1,3,4)карбоцианиниодид (IV) и некоторые другие сенсibilизаторы, строение которых приведено далее. Ряд цветных недиффундирующих компонент были использованы в основном амиды 1,2-оксинафтойной кислоты строения А, Б и В:



75% и сенсibiliзирующее действие уменьшается на 85%. Снижение дополнительной светочувствительности слоев, которое следует отнести за счет уменьшения количества красителя, составляет соответственно от 2 до 34%.

Сопоставление величин светочувствительности слоев I и II, содержащих одинаковое количество красителя в адсорбционном слое и отличающихся между собой только наличием компоненты, показывает, что последнее обуславливает значительное уменьшение дополнительной светочувствительности (в среднем на 50%). При этом степень сохранения сенсibiliзирующего действия красителя в зависимости от количества компонента

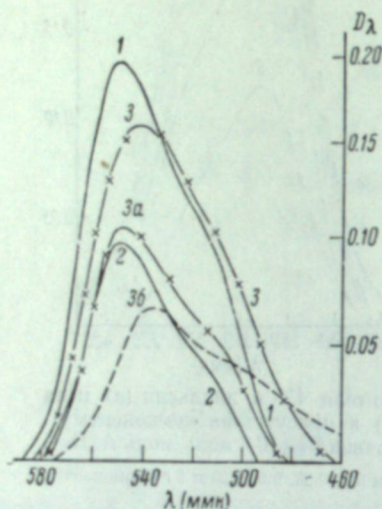


Рис. 3. Кривые поглощения красителя IV в эмульсии и в желатиновом фугате. Концентрация красителя $c \cdot 10^{-6}$ моль/моль AgHal. 1 — $c = 64$; 2 — $c = 24$; 3 — $c_{\text{исх.}} = 64 + \text{компонента А (1.25 г/л)}$; 3б — кривая поглощения красителя, десорбированного в желатиновую фазу; 3а — $3 - 3б$.

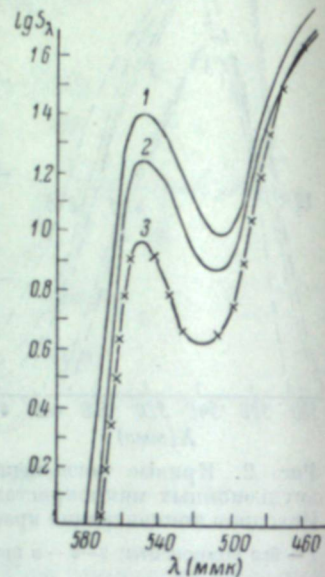


Рис. 4. Кривые распределения спектральной светочувствительности слоев, сенсibiliзированных красителем IV. Концентрация красителя $c \cdot 10^{-6}$ моль/моль AgHal. 1 — $c = 64$; 2 — $c = 24$; 3 — $c_{\text{исх.}} = 64 + \text{компонента А (1.25 г/л)}$; $c_{\text{факт}} = 24 + \text{компонента А}$.

в системе тем меньше, чем больше десорбция сенсibiliзатора с поверхности эмульсионных микрокристаллов.

Кривые рис. 4 показывают, что адсорбированная на поверхности эмульсионных микрокристаллов компонента практически не влияет на характер распределения спектральной светочувствительности слоев, а лишь обуславливает уменьшение ее величины. Аналогичные результаты были получены и для других неполимеризующихся красителей, например для тиазолинородацианина (II). Поскольку спектры поглощения неполимеризующихся сенсibiliзаторов на эмульсионных микрокристаллах имеют характер распределения спектральной светочувствительности соответствующих слоев не изменяются в присутствии компоненты, то наблюдаемое снижение сенсibiliзирующего действия красителей обуславливается не только их десорбцией, но и отрицательным влиянием наличия компоненты в адсорбционном слое, затрудняющей, каким-либо образом, передачу поглощенной красителем энергии решетке галоидного серебра. Как было показано ранее [7, 9] и видно из табл. 2, введение компонентов в эмульсию, сенсibiliзированную 3,3',9-триэтил-5,5'-димети-

накарбоцианиниидом (I), обладающим склонностью к образованию различных полимолекулярных состояний (рис. 5), наблюдается значительная десорбция этого красителя, обуславливающая не только уменьшение величины дополнительной светочувствительности, но и изменение характера его спектра поглощения в эмульсии (рис. 6).

При количествах компоненты (0.025—0.05 г/л), вызывающих крайне значительную десорбцию (менее 10%), изменения сенсibiliзирующего действия и характера спектра поглощения в эмульсии также очень малы

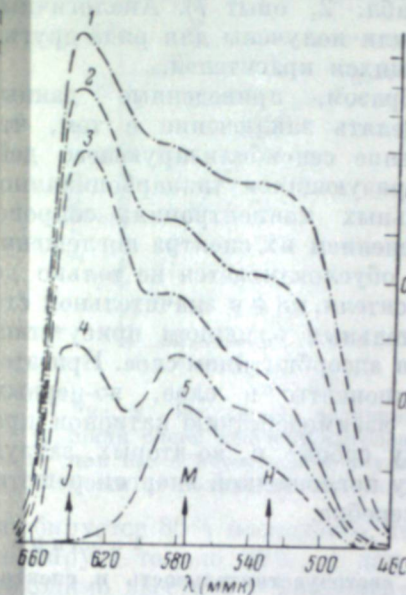


Рис. 5. Кривые поглощения красителя I в эмульсии при различных концентрациях $c \cdot 10^{-6}$ моль/моль AgHal. 1 — $c = 192$; 2 — $c = 128$; 3 — $c = 64$; 4 — $c = 32$; 5 — $c = 16$.

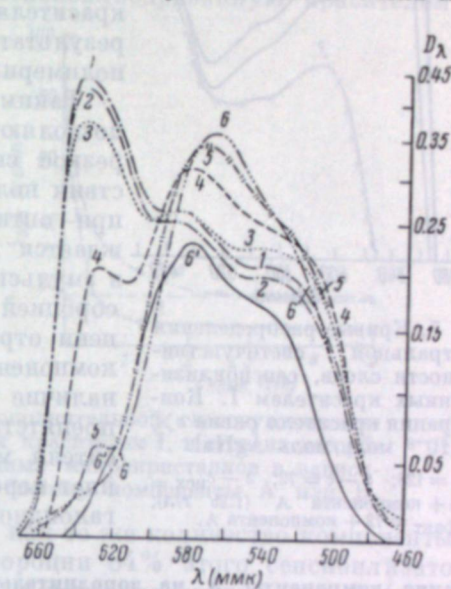


Рис. 6. Кривые поглощения красителя I в эмульсии в присутствии различных количеств компоненты А. Исходная концентрация красителя равна $128 \cdot 10^{-6}$ моль/моль AgHal. Количество компоненты (г/л): 1 — 0; 2 — 0.01; 3 — 0.025; 4 — 0.25; 5 — 1.25; 6 — 5; 6' — 5 (на AgHal).

ис. 6, 1—3). По мере повышения концентрации компоненты в системе сорбция красителя, преимущественно J-агрегатов, постепенно увеличивается (табл. 2, рис. 6). Дополнительная светочувствительность соответствующих слоев, как уже отмечалось, вначале падает очень резко, — полосы в спектре поглощения в эмульсии и смещение ее максимума в коротковолновую область (рис. 6) и в этом случае обусловлены поглощением красителя, находящегося в желатиновой среде в значительных количествах (табл. 2).

Положение максимума поглощения красителя на поверхности эмульсионных микрокристаллов не изменяется даже в присутствии значительных количеств компоненты (ср. кривую 6', рис. 6, с кривой 5, рис. 5). Кривые рис. 7 показывают, что при десорбции красителя I под влиянием компоненты характер распределения спектральной светочувствительности слоев изменяется аналогично его спектрам поглощения (рис. 6). В присутствии компоненты в адсорбционном слое не только практически исчезает чувствительность в области J-полосы, но происходит уменьшение в области M-полосы (рис. 7, 2 и 3).

Сопоставление значений дополнительной светочувствительности слоев, содержащих одинаковое количество красителя в адсорбционном слое и

отличающихся между собой наличием компоненты, также показывает, что последняя обуславливает значительно меньший эффект сенсibilизации, чем как за счет изменения соотношения молекулярных состояний в адсорбционном слое, преимущественно в сторону молекулярной формы (табл. 2, опыты 5 и 6), так и, видимо, за счет депрессирующего влияния на фотохимическую активность молекулы красителя (табл. 2, опыт 7). Аналогичные результаты были получены для ряда других полимеризующихся красителей.

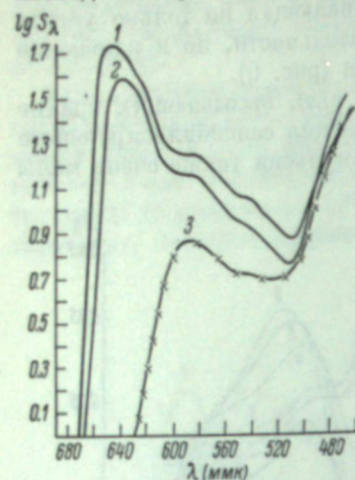


Рис. 7. Кривые распределения спектральной светочувствительности слоев, сенсibilизированных красителем I. Концентрация красителя равна $c \times 10^{-6}$ моль/моль AgHal.

1 — $c = 128$; 2 — $c = 72$; 3 — $c_{\text{исх}} = 128 + \text{компонента A (1.25 г/л)}$; $c_{\text{факт}} = 72 + \text{компонента A}$.

Таким образом, приведенные данные позволяют сделать заключение о том, что резкое снижение сенсibilизирующего действия полимеризующихся тиакробоцианинов при оптимальных концентрациях сопровождается изменением их спектра поглощения в эмульсии и обуславливается не только сорбцией красителя, но и в значительной степени отрицательным влиянием присутствия компоненты в адсорбционном слое. При наличии компоненты в слое, во-первых, препятствует взаимодействию катионов красителя между собой¹ и, во-вторых, затрудняет передачу поглощенной энергии решетки галогенида серебра.

Влияние компоненты А на дополнительную светочувствительность и спектр поглощения слоев, сенсibilизированных красителем I, и на его десорбцию с поверхности эмульсионных микрокристаллов

Без компоненты				В присутствии компоненты А в эмульсии ²			
количество красителя в эмульсии				количество компоненты			
моль $\cdot 10^6$ на 1 моль AgHal	%	$S_{0.85}$ за желтым фильтром (%)	характер спектра поглощения в эмульсии	г/л	моль на моль красителя	количество красителя, оставшегося на AgHal после десорбции (%)	$S_{0.85}$ за желтым фильтром (%)
128	100	100	$J \gg M; H$	1	—	—	100
115	90	100	То же	2	0.025—0.05	1.3—2.7	90—100
102	80	98	»	3	0.25	13.5	90
73	57	96	»	4	0.5	27	50
64	50	88	»	5	1.25	67.5	38
38	30	80—85	»	6	2.5	135	24
32	25	61	$J > M; H$	7	5	270	13
16	12.5	50	$J \gg M; H$				16
		30	— $M; H$				14
			оч. слаб.				

¹ Подобное изменение спектров сенсibilизации этого же красителя I, свидетельствующее о нарушении взаимодействия между катионами красителя, наблюдал Вуд при замене в эмульсии 60% желатин-2-сульфонилжелатиной (НС).

² Эмульсия содержит $128 \cdot 10^{-6}$ M красителя на 1 моль AgHal.

³ При оптимально действующем исходном количестве красителя.

Хотя влияние этих двух факторов на суммарный эффект оптической сенсibilизации весьма значительно, они практически проявляются лишь в условии вытеснения части красителя с поверхности AgHal.

Как известно, натриевая соль N-октадециламида 1-окси-4-сульфофтаевой кислоты (компонента Б) обладает наибольшим депрессирующим действием по сравнению с другими производными 1,2-оксинафтойной кислоты. Приведенные на рис. 8 данные показывают, что при введении компонента Б в эмульсию, сенсibilизированную красителем I,

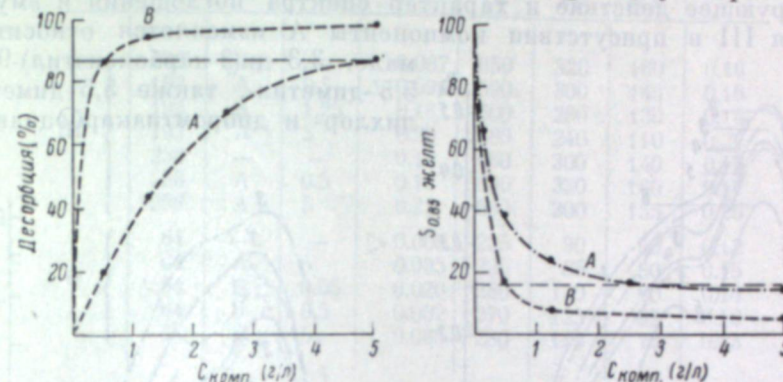
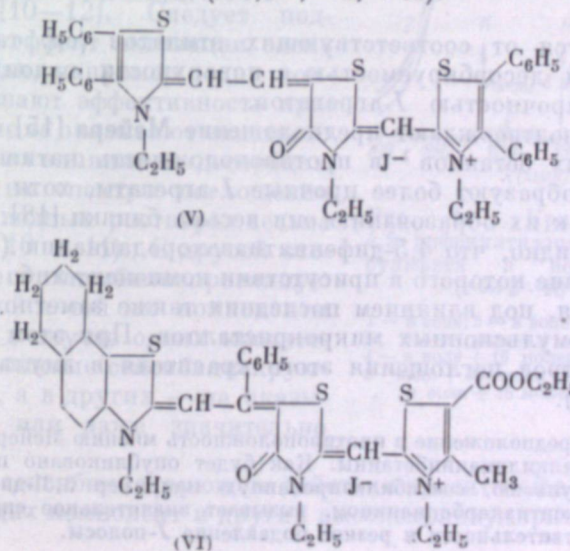
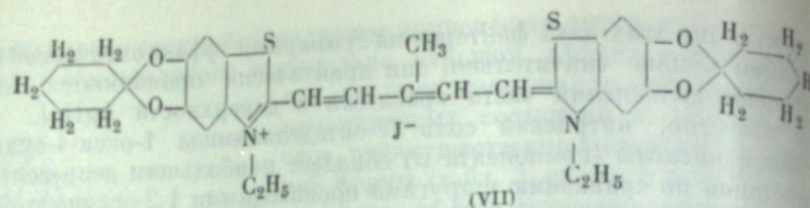


Рис. 8. Изменение величины дополнительной светочувствительности слоев, сенсibilизированных красителем I, и степени десорбции его с поверхности эмульсионных микрокристаллов в зависимости от количества введенной в систему компоненты А или В.

десорбируется 86% последнего, тогда как то же количество компоненты А десорбирует только 20%, а для десорбции 84% этого сенсibilизатора необходимо ввести 5 г компоненты А. Сравнение кривых А и В (рис. 8) показывает, что одно и то же количество красителя, оставшееся в адсорбционном слое (13—14% от введенного оптимального) в результате десорбции под влиянием 0.5 г компоненты В в одном случае и 5 г компоненты А — (другом, обуславливает практически одинаковую светочувствительность слоев: 14—17% от наблюдаемой при оптимальном количестве красителя. Эти данные наглядно иллюстрируют зависимость между степенью сохранения сенсibilизирующего действия красителя и степенью его десорбции. Из ряда компонентоустойчивых сенсibilизаторов были исследованы красители различных типов (III, V, VI, VII):





Как было показано ранее [7, 9, 15] и видно из табл. 3 и рис. 9, сенсибилизирующее действие и характер спектра поглощения в эмульсии красителя III в присутствии компоненты А изменяется относительно мало. 3,3'-ди(3-карбоксиэтил)-9-этил-5,5'-диметил-, также 5,5'-диметил-дихлор- и дибромтиакарбоцианин



Рис. 9. Кривые поглощения красителя III в эмульсии в присутствии различных количеств компоненты А. Исходная концентрация красителя $192 \cdot 10^{-6}$ моль/моль AgHal.

Количество компоненты (г/л): 1 — 0; 2 — 0.1; 3 — 0.25; 4 — 0.5; 5 — 1.25; 6 — 5.



Рис. 10. Кривые поглощения 4,5-дибензилтиазололородацианина в эмульсии в присутствии компоненты Б (или В). Концентрация красителя $192 \cdot 10^{-6}$ моль/моль AgHal; количество компонента А и Б (г/л) — а.

1 — с = 16, а = 0; 2 — с = 64, а = 0; 3 — с = 128, а = 0; 4 — с = 64, а = 5 (А); 5 — с = 64, а = 5 (В); 6 — с = 64, а = 5 (А).

таины отличаются от соответствующих этилатов (ср. табл. 2 и 3) только меньшей десорбируемостью с поверхности галоидного серебра и большей прочностью J-агрегатов.

Эти данные подтверждают предположение Мейера [15] о том, что молекулы подобных бетанов¹ в противоположность катионам алкилкарбоцианинов образуют более прочные J-агрегаты, хотя по отношению склонности к их образованию они весьма близки [18].

Из табл. 3 видно, что 4,5-дибензилтиазололородацианин (V), сенсибилизирующее действие которого в присутствии компонент либо не изменяется, либо повышается, под влиянием последних также заметно десорбируется с поверхности эмульсионных микрокристаллов. При этом существенные изменения спектров поглощения этого красителя в эмульсии не наблюдается (рис. 10).

¹ Однако это предположение в противоположность мнению Мейера не распространяется на сульфолалкилдианилбетаны. Как будет опубликовано позднее, эти компоненты в эмульсии, сенсибилизирующую например 3,3'-ди(δ-сульфобензил)-9-этил-5,5'-диметокситиакарбоцианином, вызывает значительное снижение абсолютной светочувствительности и резкое подавление J-полосы.

Таблица 3
Влияние компонент на светочувствительность слоев, сенсибилизированных компонентостойчивыми красителями

Тип красителя	Оптимальное количество красителя · 10 ⁶ на 1 м AgHal	Компонента	Количество компоненты (г/л)	D _{λ max} неэталит- нового фугата	S _{0,85}			D ₉ (8 мин.)
					общая	за фильтрами		
						жел-тым	крас-ным	
III	192	—	—	0.087	650	320	160	0.16
	192	A	0.5	0.094	590	300	145	0.16
	192	A	1.25	0.161	600	280	130	0.16
	192	A	5	0.20	580	240	110	0.22
	256	—	—	0.11	660	300	140	0.15
	256	A	0.5	0.13	680	330	160	0.17
V	256	A	5	0.22	630	300	155	0.25
	64	—	—	> 0.005	225	90	50	0.12
	64	A	5	0.095	230	85	50	0.15
	64	B	0.05	0.020	280	130	80	0.14
	64	B	0.5	0.032	270	125	82	0.16
	64	B	5	0.065	280	115	76	0.15

Специальными опытами показано, что активирующее влияние многих диффундирующих компонент и некоторых поверхностно-активных веществ анионидного характера, в частности амидов 1,2-оксинафтойной кислоты (табл. 4), обусловлено наличием молекулы этих соединений высокомолекулярного остатка и кислотной группы.

Склонность сенсибилизаторов к активации, т. е. повышению сенсибилизирующего действия, в присутствии компонент выражена наиболее сильно, как это видно из табл. 3, у красителей, содержащих в качестве заместителей фенильные, метиленовые, бензо-, циклогексидиокси-, карбокси- или карбамидо-группы [10—12]. Следует подчеркнуть, что эффект активации очень специфичен. Так, например, одни компоненты повышают эффективность красителя, а другие не оказывают заметного действия, хотя их влияние на десорбцию красителей и их спектры поглощения в эмульсии и водных растворах весьма различны (рис. 10 и 11). С другой стороны, введение в сенсибилизированную эмульсию одной и той же компоненты приводит в случае одних красителей к резкому повышению сенсибилизирующего действия, а в других — не оказывает влияния или даже значительно подавляет.

Повышение сенсибилизирующего действия красителей в присутствии не-

диффундирующих компонент и других высокомолекулярных анионидных

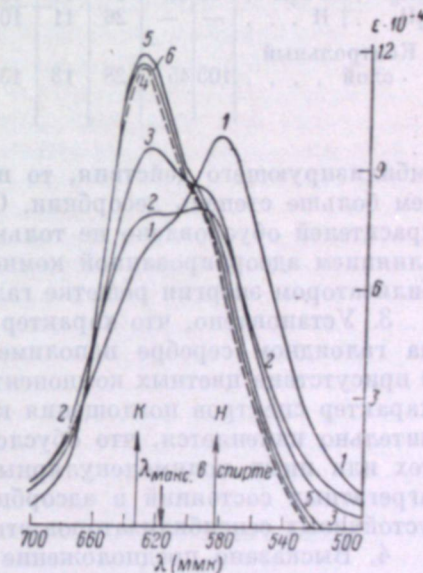


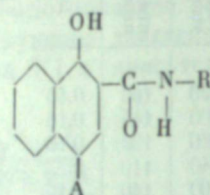
Рис. 11. Кривые поглощения 4,5-дибензилтиазололородацианинэтилсульфата в водных растворах ($c = 5 \cdot 10^{-5}$ моль/л).

1 — в воде; 2 — в воде + 1 моль компоненты Б; 3 — в воде + 4 моля компоненты Б; 4 — в воде + 16 молей компоненты Б; 5 — в воде + 32 моля компоненты Б; 6 — в воде + 16 молей компоненты А.

веществ, не сопровождающееся изменением характера их спектров поглощения в эмульсии, по-видимому, связано с облегчением передачи энергии красителем энергии решетке галоидного серебра. В этих случаях не исключена возможность

Таблица 4

Влияние амидов 1,2-оксинафтойной кислоты на светочувствительность слоев, сенсibilизированных оптимальными количествами красителей



R	A	Красители					
		I		VI		S _{0,85}	
		нед-тый	крас-тый	нед-тый	крас-тый	нед-тый	крас-тый
C ₁₈ H ₃₇	SO ₃ H	7	0.1	48	25	48	
C ₁₈ H ₃₇	H	14	0.9	23	10	15	
C ₂ H ₅	SO ₃ H	98	41	27	11	15	
C ₂ H ₅	H	—	—	26	11	10	
Контрольный слой		105	45	28	13	13	

сов, подобных наблюдаемым при персенсibilизации [ср. 17]. Указанная выше поверхностно-активные свойства вышеуказанных веществ, можно полагать, что их присутствие способствует ориентации красителя более благоприятную для передачи энергии, либо вызывает десорбцию ионов или соединений, затрудняющих этот процесс.

Выводы

1. Исследовано влияние цис-недиффундирующих компонент на сенсibilизирующее действие, дисперсию и спектры поглощения в эмульсии красителей, обладающих личной компонентоустойчивостью и склонностью к полимеризации.

2. Показано, что под влиянием компонент в условиях, близких к реальным для получения светочувствительных слоев, десорбируются практически все красители, при этом имеет место уменьшение их

сенсibilизирующего действия, то последнее подавляется тем значительнее, чем больше степень десорбции. Снижение сенсibilизирующего действия красителей обусловлено не только их десорбцией, но и депрессированием адсорбированной компоненты на передачу поглощенной энергии красителем решетке галоидного серебра.

3. Установлено, что характер спектров сенсibilизации и поглощения на галоидном серебре неполимеризующихся красителей не изменяется в присутствии цветных компонент. В ряду полимеризующихся красителей характер спектров поглощения компонентоустойчивых соединений значительно изменяется, что обусловлено как преимущественной десорбцией тех или иных полимолекулярных состояний, так и перераспределением агрегатных состояний в адсорбционном слое. В случае же компонентоустойчивых сенсibilизаторов эти изменения, как правило, невелики.

4. Высказано предположение о том, что повышение сенсibilизирующего действия некоторых красителей в присутствии недиффундирующих компонент, а также ряда других поверхностно-активных веществ объясняется вытеснением с поверхности галоидного серебра ионов или соединений, затрудняющих передачу энергии от сенсibilизатора решетке галоидного серебра, или ориентацией молекул красителя в адсорбционном слое, благоприятствующей процессу передачи поглощенной энергии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] I. G. Farbenind. Akt. Ges., Бр. пат., 496116 (Chem. Zbl., 1939, I, 1919 пат., 856703 (Chem. Zbl., 1941, I, 1639).
- [2] I. G. Farbenind. Akt. Ges., Нем. пат., 750122 (Chem. Zbl., 1947, 1540).

- [3] I. G. Farbenind. Akt. Ges., Фр. пат., 824324 (Chem. Zbl., 1938, I, 4271); Нем. пат., 746136 (Chem. Zbl., 1945, I, 983).
- [4] I. G. Farbenind. Akt. Ges., Фр. пат., 873338 (Chem. Zbl., 1942, II, 2978); Бельг. пат., 449126 (С. А., 41, 6482, 1941).
- [5] Gener. Aniline a. Film. Corp., Бр. пат., 631124 (С. А., 44, 7687, 1950); Пат. США, 2504615 (С. А., 44, 5744, 1950).
- [6] E. Kodak Co. (В. Н. Carroll, J. Spence), Пат. США, 2640777.
- [7] Э. Б. Лифшиц, Диссертация, М., 1951.
- [8] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Журн. физ. химии, 28, 1572, 1954.
- [9] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1, 174, 1956.
- [10] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, З. П. Сытник, И. И. Левкоев, К. И. Покровская, М. В. Дейчмейстер, Г. Ф. Курепина, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид., СССР, № 104783, 1954.
- [11] С. В. Натансон, К. И. Покровская, Э. Б. Лифшиц, Н. Н. Свешников, З. П. Сытник, Т. Г. Гневышева, М. В. Крылова, А. Ф. Вомпе, Авт. свид., СССР, № 104282, 1954.
- [12] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, К. И. Покровская, З. П. Сытник, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид., СССР, № 110135, 1956.
- [13] Gevaert Photo. Prod. N. V., Бельг. пат., 510948 (С. А., 52, 10779, 1958).
- [14] Ю. Н. Горюховский, З. И. Грацианская, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 2, 421, 1957.
- [15] K. Meyer, Z. wiss. Photogr., 52, 170, 1958.
- [16] H. W. Wood, Sci. ind. phot., 23A, 110, 1952.
- [17] W. West, B. N. Carroll, J. Chem. Phys., 15, 539, 1947; 19, 417, 1951.
- [18] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Н. Н. Свешников, З. П. Сытник, Труды НИКФИ, 10 (20), 55, 1957.

Ю. Б. ВИЛЕНСКИЙ, Р. В. ТИМОФЕЕВА

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФФУЗИИ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В ФОТОГРАФИЧЕСКИХ СЛОЯХ

Способность оптических сенсibilизаторов диффундировать в желатинном геле, являющемся связующей средой эмульсионного слоя, привлекает к себе внимание в связи с производством многослойных пленок, в которых очередью цветных. Отсутствие диффузии сенсibilизаторов в многослойных пленках является необходимым условием цветоделения. Многие эффективные сенсibilизаторы не удовлетворяют этому требованию, что ограничивает их применение в цветных пленках. В некоторых случаях испарение красителя приводит к ухудшению цветоделения.

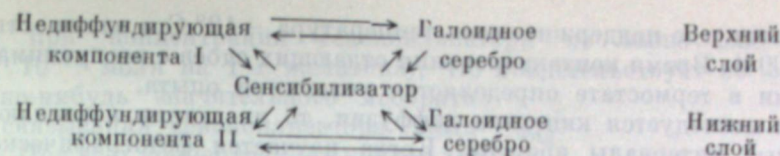
Следует отметить, что диффузия красителей происходит в процессе нанесения эмульсионных слоев и их сушки. Мы не знаем каких-либо фактов, указывающих на способность сенсibilизаторов диффундировать в сухих желатиновых слоях.

Диффузия сенсibilизаторов в эмульсионных слоях зависит от многих факторов, часть которых весьма мало изучена. В желатиновых растворах красители в различной степени агрегированы, и каждому из этих состояний присущ свой определенный коэффициент диффузии [1]. На различных стадиях полива и сушки слоев изменяется состояние среды, в которой происходит диффузия. Адсорбция красителя на галлоидном серебре и взаимодействие с другими веществами, находящимися в слое, существенно влияют на распределение концентрации физического состояния красителей в слоях. Определение коэффициента диффузии сенсibilизаторов в различных агрегатных состояниях наталкивается на значительные трудности.

Для технологии решающее значение имеет не сам факт диффузии, а фотографическое действие продиффундировавшего сенсibilизатора. Оно зависит от количества красителя, продиффундировавшего в слой за время его нанесения и сушки, эффективности красителя и восприимчивости слоя, а также от наличия в слоях других веществ, способных влиять на поведение сенсibilизатора — адсорбировать его, конкурировать с ним в процессе адсорбции и т. д.

При изучении диффузии сенсibilизаторов следует различать стороны явления: кинетику диффузии и равновесное распределение сенсibilизатора между слоями. Медленно диффундирующий сенсibilизатор может в большом количестве проникать в соседние слои, если для диффузии было предоставлено достаточное время. Если диффузия протекает достаточно длительное время, конечный результат определяется равновесной концентрацией в слоях. В реальных пленках это равновесие обусловлено многими факторами и мало изучено.

Например, для двух слоев цветной пленки это равновесие можно изобразить следующей упрощенной схемой:



Стрелками показано динамическое равновесие сенсibilизатора между едой, поверхностью галлоидного серебра и мицеллами краскообразующих компонент в принимающей и отдающей пленках. В настоящее время не располагаем данными для расчета такого равновесия.

Во многих случаях практической проверки пригодности сенсibilизаторов оказывается достаточным определение фотографических последствий диффузии сенсibilизатора. Для этого используется метод двух-оильных поливов [2]. Сущность его состоит в том, что на пленку поливают а слоя, из которых нижний (отдающий) слой содержит краситель, желатин и другие вещества (галлоидное серебро, краскообразующие компоненты пр.), действие которых подлежит изучению, а верхний (воспринимающий) слой поливается несенсибилизированной фотографической эмульсией.

Важной необходимости в нее также вводят краскообразующие компоненты различения изображений, образующихся в отдающем и воспринимающих слоях. Высушенную пленку экспонируют на спектрографе и о диффузии сенсibilизатора качественно судят по наличию изображения в воспринимающей зоне сенсibilизации продиффундированного красителя. Описанный метод носит качественный характер и имеет ряд недостатков, ограничивающих возможность его использования

в научном исследовании. На получаемые результаты оказывают сильное влияние условия полива и сушки пленки. Неопределенность времени диффузии не позволяет сказать, является ли наблюдаемая картина следствием той или иной скорости диффузии сенсibilизатора или его равновесного распределения между воспринимающим и отдающим слоями. За время высыхания непрерывно изменяются свойства желатинового слоя и его влияние на диффузию. В процессе нанесения воспринимающего слоя всегда существует опасность частичного его сплавления с отдающим слоем.

В настоящей работе описывается новый метод количественного определения фотографического действия продиффундировавшего сенсibilизатора (назовем его методом контактирования), свободный от указанных недостатков. Сущность его состоит в следующем. Отдающий слой равномерно поливают на стеклянную пластинку. Состав раствора сенсibilизатора выбирают в зависимости от целей эксперимента. Концентрация желатина в нем не должна быть ниже 5% для получения достаточной прочности студня. Политый слой студенист и выдерживают на поливном столике. Для предотвращения испарения пластинку накрывают колпаком, под который помещают чашку с водой. После студенист к поверхности отдающего слоя прикатывают пленку с сухим или влажным воспринимающим слоем (воспринимающая пленка). В качестве последней удобно использовать какую-либо малочувствительную высокодисперсную несенсибилизированную пленку, доступную в больших количествах, стандартную по фотографическим свойствам и хорошо сохраняющуюся. Мы применяли пленку «Позитив МЗ» Шосткинского химического завода.

Если этого требуют задачи исследования, может быть полита специальная воспринимающая пленка соответствующего состава. В каждой серии опытов поливается пластинка с отдающим слоем, не содержащим сенсibilизатора. Прикатанные к ней воспринимающие пленки являются контрольными. Поверх этих пленок накладывается листок целлулоида, а на него — мешочек с песком весом 350 г. В таком виде пластинки помещают

в термостат, где поддерживаются температура $+12^{\circ}\text{C}$ и влажность, близкая к 100%. Время контактирования отдающих слоев с воспринимающими пленками в термостате определяется условиями опыта.

Если исследуется кинетика диффузии, то пластинки извлекают в различные интервалы времени. Когда изучается фотографическое действие при равновесном распределении по слоям, то все пластинки выдерживают одно время, достаточное для установления равновесия, что проверяется специальным опытом. Во многих случаях для этого бывает достаточно 24 часа.

После извлечения пластинок воспринимающие пленки отделяют от отдающих слоев и высушиваются. Экспонирование всех пленок, в том числе и контрольных, производится на сенситометре за желтым фильтром.

После стандартного проявления производится определение светочувствительности по критерию $D_0 + 0.2$. Для численного выражения фотографического действия продиффундировавшего в приемный слой красителя вводится понятие фотографического критерия диффузии (ФКД):

$$\text{ФКД} = \lg \frac{S^*}{S_0^*},$$

где S^* — чувствительность воспринимающей пленки за желтым фильтром, S_0^* — чувствительность контрольной пленки за желтым фильтром.

На величину ФКД существенное влияние оказывает эффективность красителя в отношении оптической сенсibilизации воспринимающего слоя. Это необходимо учитывать при оценке результатов опытов с красителями разной эффективности.

Необходимо также в каждом случае принимать во внимание особенности самих исследуемых сенсibilизаторов. Например, если краситель нестойк в водно-желатиновой среде, то нельзя проводить опыты с красителем в течение времени контактирования.

Описанная методика позволяет широко варьировать состав отдающих и воспринимающих слоев, а также строго контролировать и поддерживать постоянным состояние среды во время диффузии. Сочетание диффузионных измерений с другими физико-химическими методами позволяет получать ряд дополнительных сведений о состоянии красителя и его введении в слой.

Далее приводятся примеры, иллюстрирующие применение метода контактирования для исследования диффузионного равновесия. В некоторых случаях в качестве сенсibilизатора использовался один из симметричных карбоцианиновых панхроматических красителей с молекулярным весом 500.

Диффузионное равновесие в системе «желатин-бромйодосеребряная эмульсия»

Отдающий слой содержал 2.925 г желатина, 45 мл воды и 0.005 г бромйодосеребряной эмульсии в метаноле (4 мл). Концентрация сенсibilизатора в отдающем слое изменялась от $1.23 \cdot 10^{-8}$ до $1.95 \cdot 10^{-4}$ М.

На рис. 1 приведена зависимость ФКД от концентрации красителя в отдающем слое (кривая диффузионного равновесия) для двух типов и различных времен контактирования. Совпадение точек кривой I (желатин № 2636) для 3 и 24 час. подтверждает, что равновесие устанавливается. В дальнейших опытах из соображений удобства контактирование проводилось в течение 24 час. На кривой II (желатин № 3062) нанесены точки двух повторных опытов, иллюстрирующих воспроизводимость метода. Для обоих желатинов ФКД принимает нулевые

значения при концентрации сенсibilизатора не выше $1.23 \cdot 10^{-8}$ М ($2.05 \cdot 10^{-10}$ моля на 1 г желатина), что свидетельствует об отсутствии сколько-нибудь значительного необратимого связывания сенсibilизатора желатином. При всех концентрациях кривая для желатина № 2636 лежит выше, чем для желатина № 3062. Это указывает на различие в обратимом взаимодействии сенсibilизатора с желатинами разных партий, заметно влияющее на диффузионное равновесие сенсibilизатора. При высоких концентрациях сенсibilизатора на кривых I и II, как и во всех других опытах, наблюдается загиб кривой ФКД, связанный с переходом в воспринимающую пленку верхнотимпальных количеств сенсibilизатора.

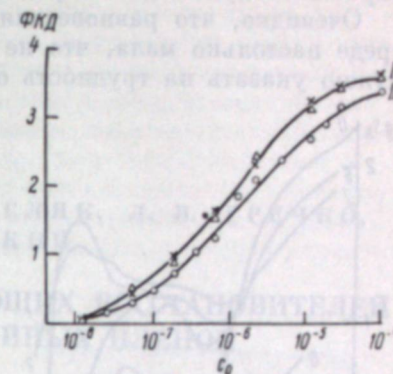


Рис. 1. Диффузионное равновесие сенсibilизатора в системе «желатин-бромйодосеребряная эмульсия».

I — желатин № 2636, II — желатин № 3062; c_0 — начальная концентрация сенсibilизатора в отдающем слое (моль/л).

Диффузионное равновесие в системе «бромйодосеребряная эмульсия — бромйодосеребряная эмульсия»

В состав отдающего слоя входит высокочувствительная бромйодосеребряная эмульсия, содержащая 39.5 г/л металлического серебра, 15 мл воды и 4 мл раствора сенсibilизатора в метаноле. Концентрация сенсibilизатора в отдающем слое изменялась от $1.23 \cdot 10^{-8}$ до $1.95 \cdot 10^{-4}$ М.

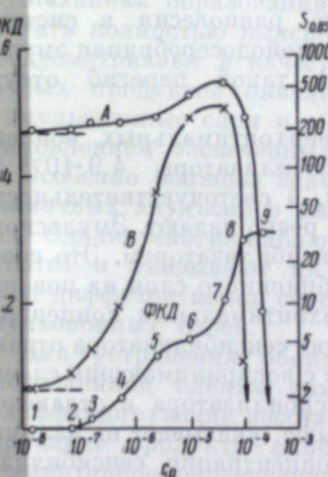


Рис. 2. Диффузионное равновесие сенсibilизатора между бромйодосеребряными эмульсионными слоями.

A — общая, B — сенсibilизированная чувствительность отдающего слоя.

значения при отсутствии диффузии в данном случае можно объяснить только необратимой адсорбцией его на поверхности галоидного серебра.

В области концентраций от $5 \cdot 10^{-8}$ до $3 \cdot 10^{-6}$ М (рис. 2, точки 2—5) начинается диффузия сенсibilизатора в воспринимающий слой, возрастающая с концентрацией. Дополнительная чувствительность отдающего слоя (кривая B) резко увеличивается. На кривых спектральной

В этой серии опытов наряду с определением ФКД измерялись фотографические свойства и спектральная светочувствительность отдающих слоев, а также контролировалось наличие свободного сенсibilизатора в эмульсионной среде отдающего слоя (по окраске раствора отдающего слоя после отделения галоидного серебра центрифугированием).

На кривой диффузионного равновесия (рис. 2) можно отметить несколько различных участков.

а) При концентрации сенсibilизатора менее $5 \cdot 10^{-8}$ М диффузия отсутствует (точки 1 и 2 на кривой ФКД). Этой области концентраций соответствует весьма низкий прирост светочувствительности отдающего слоя (кривые A и B).

Спектральная чувствительность (рис. 3, 2) представлена молекулярной полосой. Окраска в эмульсионной среде отсутствует. Так как при этих концентрациях краситель из желатиновой среды заметно диффундирует (рис. 1), в данном случае можно объяснить только необратимой адсорбцией его на поверхности галоидного серебра.

б) В области концентраций от $5 \cdot 10^{-8}$ до $3 \cdot 10^{-6}$ М (рис. 2, точки 2—5) начинается диффузия сенсibilизатора в воспринимающий слой, возрастающая с концентрацией. Дополнительная чувствительность отдающего слоя (кривая B) резко увеличивается. На кривых спектральной

чувствительности (рис. 3, 3—5) появляется *H*-полоса, свидетельствующая об образовании *H*-агрегатов красителя на галоидном серебре. Заметная окраска в эмульсионной среде не наблюдается.

Очевидно, что равновесная концентрация красителя в эмульсионной среде настолько мала, что не определяется колориметрически. При этом нужно указать на трудность определения слабых окрасок эмульсионной среды из-за рассеяния света желатином.

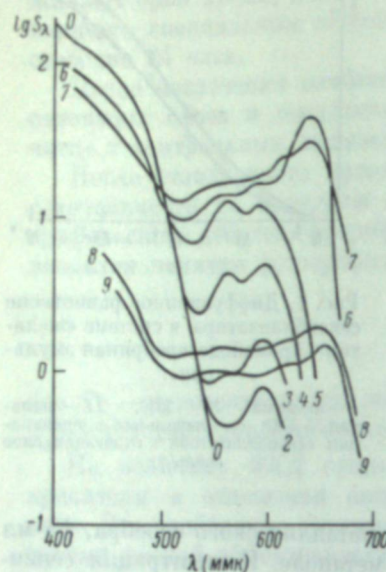


Рис. 3. Спектральная чувствительность S_λ отдающего бромйодосеребряного слоя при различных концентрациях сенсibilизатора.

Нумерация кривых соответствует нумерации точек на кривой ФКД рис. 2.

в) В области концентраций от $3 \cdot 10^{-5}$ до $4.9 \cdot 10^{-5}$ *M* (рис. 2, точки 5—7) имеет место перегиб кривой ФКД. Вблизи концентрации $4.9 \cdot 10^{-5}$ *M* имеет оптимальную концентрацию сенсibilизатора в отдающем слое (рис. 2, максимумы кривых *A* и *B*). Спектральная чувствительность характеризуется наличием сильно выраженной *I*-полосы и сглаженностью *M*- и *H*-полос (рис. 6, 7).

Эмульсионная среда заметно окрасена сенсibilизатором. Перегиб кривой в указанной области концентраций является следствием того, что часть сенсibilизатора, введенного в отдающий слой, пошла на образование *I*-агрегатов на поверхности галоидного серебра в отдающем слое. На кривой диффузионного равновесия в системе «желатин—бромйодосеребряная эмульсия» (рис. 1) такой перегиб отсутствует.

г) При сверхоптимальных концентрациях сенсibilизатора $4.9 \cdot 10^{-5}$ *M* (рис. 2, точка 8), а светочувствительность отдающего слоя (рис. 2, *A*, *B*) и S_λ (рис. 3, 8, 9) резко падают. Эмульсионная среда отдающего слоя сильно окрасена сенсibilизатором. Это соответствует представлению о насыщенности адсорбционного слоя на поверхности кристаллов галоидного серебра при сверхоптимальных концентрациях красителя. Все сверхоптимальное количество сенсibilизатора отдающего слоя участвует в диффузионном равновесии с воспринимающим слоем.

Загиб кривой ФКД при концентрации сенсibilизатора в отдающем слое $1 \cdot 10^{-4}$ *M* (рис. 2, 9), как это отмечалось выше, указывает на наличие в воспринимающем слое сверхоптимальной концентрации сенсibilизатора. В этой области концентраций лежит граница применимости метода.

Приведенные данные показывают тесную связь между диффузионным равновесием и состоянием сенсibilизатора на галоидном серебре отдающего слоя.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. М. Соловьев, Журн. техн. физики, 15, 705, 1945.
- [2] К. Мейер, Н. З. Ульбрихт, ZS. wiss. Phot., 46, 72, 1951.

В. А. БОГОЛЮБСКИЙ, Г. П. ШУМЕЛЯК, Л. В. ГРЕЧКО,
Ю. Б. ВИЛЕНСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕДИФФУНДИРУЮЩИХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЦВЕТНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК

Недиффундирующие восстановители в цветных пленках применяются для устранения двух эффектов взаимодействия между эмульсионными слоями, приводящих к нарушению фотографических свойств.

Первый из них, вертикальный эффект проявления второго рода [1], состоит в неселективном образовании красителей из-за диффузии промежуточных продуктов окисления проявляющего вещества из эмульсионных слоев, содержащих краскообразующие компоненты с низкой реакционной способностью, в соседние слои.

Второй эффект состоит в образовании повышенной вуали на границе прикосновения эмульсионных слоев с фильтровым слоем из коллоидного серебра (контактная вуаль).

Механизм образования контактной вуали в настоящее время нельзя считать полностью выясненным. Гипотезы К. Мейера [2] и Э. Вейде [3] рассматривают в качестве промежуточной стадии диффузию промежуточных продуктов окисления проявляющего вещества из фильтрового эмульсионного слоя и образование в них окраски, не связанное с восстановлением засвеченных эмульсионных зерен.

Особенно большое значение контактная вуаль имеет при применении многослойных эмульсий в высокочувствительных цветных негативных пленках. Однако многие наблюдения не укладываются в рамки существующих гипотез и указывают на возможность образования контактной вуали из-за диффузии ионов серебра из фильтрового слоя в процессе нанесения эмульсионных слоев.

Для устранения обоих эффектов между соответствующими слоями многослойной пленки помещают желатиновые прослойки, содержащие недиффундирующие восстановители. Последние восстанавливают диффундирующие продукты окисления (или ионы серебра) и предотвращают неселективное образование красителей [4—7].

Высокая восстанавливающая способность и ограниченная подвижность желатинового геля являются одними из основных требований, предъявляемых к недиффундирующим восстановителям для цветных пленок.

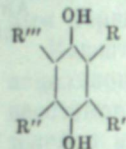
Последнее требование обусловлено как необходимостью предотвращения вымывания их в процессе проявления, так и предупреждения их проникновения в эмульсионные слои. В этом случае недиффундирующие восстановители конкурируют с краскообразующими компонентами при первом проявлении, снижая выход красителя.

В качестве недиффундирующих восстановителей применяют производные гидрохинона. В патентной литературе говорится об использовании циклогидрохинонов и их оксимов, эфиров и амидов гентизиновой и гомогентизиновой кислоты [8—10], алкил- и арилгидрохинонов [11—16], п-килиденбисгидрохинонов [17], различных полимерных соединений,

введены недиффундирующий восстановитель и краскообразующая компонента, после обработки в отбеливающей ванне окрашивается в оранжевый цвет. При погружении такой пленки в раствор щелочи она переходит в синюю.

Если в качестве недиффундирующих восстановителей применяются производные гидрохинона с двумя третичными алкильными группами или тетразамещенные гидрохиноны, то образования окрашенных соединений не наблюдается (табл. 4).

Влияние 2,3,4,6 заместителей в гидрохиноне на образование окрашенных соединений в пленке, содержащей 1-(4'-фенокси-3'-сульфофенил)-3-октадецилпиразолон-5

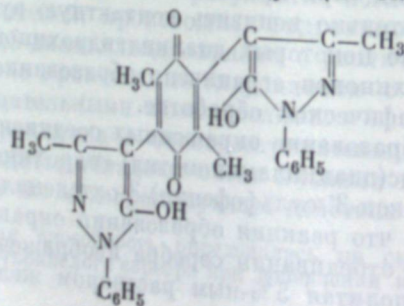


Заместители				Окраска
R	R'	R''	R'''	
-CH ₃	CH ₃	-CH ₃	CH ₃	Не возникает
-C ₅ H ₁₁ третичный	H	-C ₅ H ₁₁ третичный	H	
-C ₅ H ₁₁ вторичный	H	-C ₅ H ₁₁ вторичный	H	Не возникает
-C ₈ H ₁₇ вторичный	H	-C ₈ H ₁₇ вторичный	H	

Реакцию образования красителей из краскообразующих компонентов и производных гидрохинона в условиях цветного проявления можно объяснить следующим образом.

При обработке красной кровяной солью пленки, содержащей недиффундирующий восстановитель, происходит окисление его до соответствующего хинона. Как известно [26—31], хиноны легко вступают во взаимодействие в щелочной среде с соединениями, содержащими активные метиленовые группы, в данном случае — с краскообразующими компонентами 1-(4'-фенокси-3'-сульфофенил)-3-октадецилпиразолон-5. При этом образуются темно-синие продукты конденсации. Оказалось, что реакция имеет место и в нейтральной среде с образованием окрашенных продуктов, которые при растворении в щелочах образуют глубоко окрашенные растворы. Такие превращения характерны для оксаниновых красителей.

В простейших случаях нам удалось выделить эти соединения из раствора и проанализировать их. Так, оранжевый продукт реакции 2-метилхинона и 1-фенил-3-метилпиразолон-5 по результатам анализа и по своим свойствам представляет следующий оксаниновый краситель.

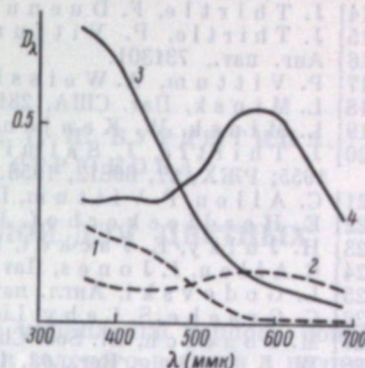


Восстановлением его получен соответствующий бесцветный гидрохинон, а также диацетильное производное.

На рисунке приведены кривые поглощения пленки, содержащей диметилгидрохинон и 1-(4'-фенокси-3'-сульфофенил)-3-октадецилпиразолон-5, после обработки в отбеливающей ванне. Для сравнения приводится кривая поглощения красителя, полученного из диметилхинона и той же компоненты.

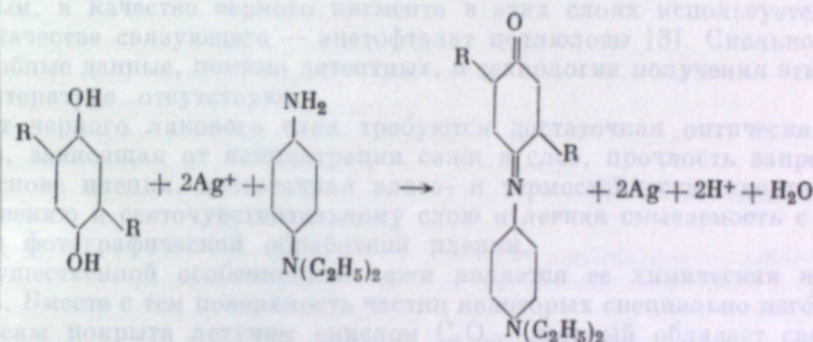
Из сравнения кривых поглощения видно, что максимумы поглощения в обоих красителях совпадают. Хиноны с третичными алкильными группами, а также тетразамещенные хиноны не вступают во взаимодействие с соединениями с активной метиленовой группой в растворе. Очевидно, объемные третичные алкильные группы экранируют активные центры хинона, а полное замещение атомов водорода в хиноне алкильными группами вообще делает такую реакцию невозможной.

В большей или меньшей степени образование окрашенных соединений при цветном проявлении эмульсии, содержащей недиффундирующий восстановитель, в отсутствие краскообразующей компоненты имеет место у всех производных гидрохинона. Можно предположить, что в данном случае частично протекает реакция:



Кривые поглощения.

1 — пленки, содержащей диметилгидрохинон и 1-(4'-фенокси-3'-сульфофенил)-3-октадецилпиразолон-5 в нейтральной среде; 2 — то же в щелочной среде; 3 — спиртовых растворов красителя из диметилхинона и 1-(4'-фенокси-3'-сульфофенил)-3-октадецилпиразолон-5 в нейтральной среде; 4 — то же в щелочной среде.



При этом получается голубой краситель. Подобная реакция характерна для многих фенолов с электроотрицательными заместителями в 4-положении.

ЛИТЕРАТУРА

- Ю. Вилениский, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1, 206—208, 1956.
- K. Meyer, Bild und Ton, (8) 4, 228, 1954.
- E. Weyde, Sci. et Ind. photogr., 24, 411, 1953.
- И. Килинский, Ю. Вилениский, А. Иорданский, Техника кино и телевидения, 1, 50, 1957.
- В. Чельцов, С. Бонгард. Цветное проявление. Изд. «Искусство», М., 1958.
- Ю. Вилениский, М. Альперович, Г. Шумеляк, Н. Бударина, Е. Тульчинская, Н. Гринева, Авт. свид., СССР, № 106548, 1956.
- В. Боголюбский, Ю. Вилениский, М. Альперович, Л. Гречко, Авт. свид., СССР, № 112636, 1958.
- P. Vittum, J. R. Thirtle, Пат. США, 2675314; С. А., 48, 8099, 1954.
- Kodak Ltd., Англ. пат., 720500, 1954; РЖХ, 12, 37470, 1956.
- B. Bent, A. Weissberger, Пат. США, 2704713, 1955; С. А., 49, 8020, 1955.

- [11] P. Vittum, A. Weissberger, J. Thirtle, Франц. пат., 1053636, РЖХ, 21, 69810, 1956.
- [12] A. Weissberger, E. Jolley, Пат. США, 2336327, 1943.
- [13] A. Loria, J. Thirtle, A. Weissberger, Пат. США, 2728650, РЖХ, 21, 69811, 1956.
- [14] J. Thirtle, F. Duenuebier, Пат. США, 2701197; С. А., 49, 1077.
- [15] J. Thirtle, P. Vittum, A. Weissberger, Пат. США, 2732300, Анг. пат., 731301.
- [16] P. Vittum, A. Weissberger, Пат. США, 2735765, 1956.
- [17] L. Minsk, Пат. США, 2816028, 1957; С. А., 52, 5177, 1958.
- [18] L. Minsk, W. Kenjon, Пат. США, 2710801, 1955; С. А., 20, 6686.
- [19] L. Minsk, W. Kenjon, Пат. США, 2710801, 1955; С. А., 20, 6686.
- [20] J. Thirtle, J. Salmineu, A. Weissberger; Пат. США, 2710801, 1955; РЖХ, 21, 69812, 1956.
- [21] C. Alleu, P. Vittum, Пат. США, 2735764, 1956.
- [22] E. Herdieckerhof, E. Weyde, J. Meyer, Пат. ФРГ, 954391.
- [23] H. Julzy, E. Jackel, Пат. США, 2740717, 1956.
- [24] C. Alleu, J. Jones, Пат. США, 2418613, 1947.
- [25] L. Godovski, Англ. пат., 711488, 1957.
- [26] C. Graebe, S. Leby, Lieb. Ann., 288, 245, 1894.
- [27] M. Jouesch, Bl. Soc. Chem., 41, 1094, 1927.
- [28] W. Kisting, Ber., 62, 1422, 1929.
- [29] А. Киприанов, А. Стеценко, Журн. общ. химии, 23, 1912, 1953.
- [30] W. Kisting, Z. ang. Chem., 41, 358, 745, 1928.
- [31] F. Kröhnke, U. Schmeiss, Ber., 70, 1729, 1937.

Л. В. РОЗЕНТАЛЬ, З. К. АВЕРБУХ, Г. И. БУРДЫГИНА,
А. Ф. МУКОВНИНА, В. В. СТЮКОВА

ЧЕРНЫЙ ПРОТИВООРЕОЛЬНЫЙ СЛОЙ ДЛЯ ЦВЕТНЫХ ПЛЕНОК

При нанесении на цветные многослойные киноплёнки черного контр-слоя взамен применяемого в настоящее время зеленого в связи с полным устранением ореолов отражения разрешающая способность пленок повышается. Замена зеленого контр-слоя черным особенно целесообразна в цвет-ных позитивных пленках (ЦП-7) с синечувствительным нижним эмульсион-ным слоем [1]. Сравнительное измерение микрофотометром плотностей изображения штриха специально изготовленной миры на пленках с зеле-ным и черным противоореольными слоями показало, что в последнем случае измыывание контура изображения штриха миры значительно умень-шается [2].

Как известно, черный противоореольный слой наносится на цветные пленки, входящие в комплект «Истменколор». Судя по литературным данным, в качестве черного пигмента в этих слоях используется сажа, в качестве связующего — ацетофталат целлюлозы [3]. Сколько-нибудь подробные данные, помимо патентных, о технологии получения этих слоев в литературе отсутствуют.

От черного лакового слоя требуются достаточная оптическая плот-ность, зависящая от концентрации сажи в слое, прочность закрепления в основе пленки, достаточная влаго- и термостойкость, инертность по отношению к светочувствительному слою и легкая смываемость с основы перед фотографической обработкой пленки.

Существенной особенностью сажи является ее химическая неактив-ность. Вместе с тем поверхность частиц некоторых специально изготовлен-ных саж покрыта летучим окислом C_xO_y , который обладает свойством бирательного поглощения и, следовательно, ведет себя как дисперги-рующий агент: улучшает смачивание, облегчает диспергирование и повы-шает устойчивость дисперсии сажи [4, 5].

Различные сажи обладают различным содержанием поверхностного исла (оцениваемого по содержанию летучих веществ), а следовательно, различной степенью активности (табл. 1). Средний диаметр частиц высо-дисперсных саж составляет $30 \div 40$ мкм, т. е. лежит в коллоидной ласти. Однако сажа обладает выраженной склонностью к агрегации, связи с чем одной из основных задач при ее использовании в качестве пигмента для противоореольных слоев являются разрушение этих агре-гов и создание необходимой защиты от последующей агрегации, т. е. лучение коллоидной дисперсии сажи и стабилизация ее.

Сажа в дисперсионной среде образует типичный лиофобный коллоид, епень дисперсности которого может варьировать в зависимости от сте-ни агрегирования в сравнительно широких пределах.

Одна и та же частица сажи может достичь в своем росте различных змеров. Рост частицы может быть приостановлен созданием адсорбци-

Физико-химические свойства саж [4]

Саж	Количество ле- гучих веществ (%)	pH	Средний диа- метр частиц (μ)	Удельная по- верхность (m^2/g)	Удельная элект- ропроводность ($\cdot 10^{-10} \text{ ом} \cdot \text{см}$)
Газовая канальная окисленная . .	18	3.0	346	230	1
Газовая канальная	6.8	4.0	348	128	115
Газовая печная	1.2	7.7	815	40	5400

онного слоя стабилизатора. При этом необходимо, чтобы скорость агрегации частицами сажи стабилизатора опережала скорость роста частиц за счет агрегирования.

Таким образом, свойства образующейся коллоидной дисперсии сажи ее дисперсность и агрегативная устойчивость — зависят от соотношения скоростей всех процессов, ведущих к созданию сажевой мицеллы.

Для исследования условий стабилизации коллоидной дисперсии сажи был выбран метод определения скорости седиментации сажевых дисперсий по просветлению верхнего слоя дисперсионной среды. Этот метод достаточно точный.

Выше уже упоминалось, что различные сажи обладают различной физической активностью. Катионные группы приводят к образованию водорастворимых солей ацетофталата, что способствует возможному смыванию с пленки лаковых слоев на основе ацетофталата целлюлозы. Ацетофталат целлюлозы способен образовывать прочные термостойкие лаковые слои на пленках [6].

Рис. 1. Скорость седиментации различных типов саж, диспергированных в спирто-ацетоновой смеси 55 : 45.

1 — канальная сажа; 2 — окисленная канальная сажа; Н — высота осадка при седиментации (в см); τ — продолжительность стояния дисперсии (в мин.).

От метода диспергирования зависит качество лаковой дисперсии, продолжительность процесса диспергирования сажи в связующем.

Проведенные нами исследования показали, что диспергирование сажи в обычных шаровых мельницах не дает достаточного эффекта даже при продолжительности диспергирования в несколько суток.

Значительно лучшие результаты были получены при диспергировании сажи в предварительно пластифицированном связующем. При этом диспергирование сажи велось на мощных смесительных вальцах с фрикционными роликами.

Этот метод разработан в ГИПИ-4 И. М. Алексеевым для получения качественных черных автомобильных эмалей.

Таблица 1

Большие механические воздействия, которым подвергается на мощных вальцах с фрикцией пластифицированная смесь связующего с сажой, приводят к полному разрушению сажевых агрегатов и образованию из связующего вокруг каждой частицы защитной оболочки, препятствующей оседанию агрегации сажевых частиц.

К числу важнейших компонентов сажевой дисперсии, определяющих ее коллоидную стабильность, относится связующее сажи. Это связующее должно обладать хорошими защитными свойствами и вместе с тем растворяться в слабых щелочах и таких органических растворителях, которые беспечивали бы требуемую адгезию лака с основой и быструю сушку слоя.

Нами были испытаны карбоксиметилцеллюлоза, повималь, казеин, оливиниловый спирт, «ОК»-лак и ацетофталат целлюлозы. Проведенные исследования показали, что лучшим связующим сажи является ацетофталат целлюлозы.

Ацетофталат целлюлозы обладает лучшими защитными свойствами, чем другие растворимые в щелочах полимеры. Он не растворим в воде и в кислотах, вместе с тем растворяется во многих органических растворителях. Взаимодействие натриевыми щелочами при остаточном содержании ацетофталата целлюлозы приводит к образованию водорастворимых солей ацетофталата целлюлозы. Последнее несколько выше стабильность дисперсии, чем у ацетофталата целлюлозы.

Ацетофталат целлюлозы способен образовывать прочные термостойкие лаковые слои на пленках [6]. Критерием оценки связующего в наших исследованиях служило отсутствие в полных на пленку лаковых слоев сажевых агрегатов, определяемых в процессе диспергирования путем микроскопического исследования сажевых дисперсий. Пластификаторы, необходимые для осуществления диспергирования сажи в ацетофталате целлюлозы, также должны хорошо растворяться в слабых щелочах и органических растворителях и по крайней мере не ухудшать стабильности сажевой дисперсии.

Как показали наши исследования, в качестве пластификаторов ацетофталата целлюлозы могут быть использованы уксусно-кислый эфир глицерина (триацетин) и монометиловый эфир диэтиленгликоля (метилкарбитол).

Окисленная сажа обладает сильно развитой поверхностью ($\sim 230 m^2/g$). Исследования показали, что вследствие малой вязкости лаковой дисперсии, не препятствующей свободному передвижению сажевых частиц, для защиты ацетофталата целлюлозы недостаточно для предотвращения агрегации частиц. Последнее может быть устранено дополнительным введением в дисперсию поверхностно-активных веществ.

Поверхностно-активные вещества исследовались нами также путем изучения скорости седиментации сажевых частиц в дисперсии. Нами были исследованы поверхностно-активные вещества, хорошо растворимые в органических растворителях: ОС-20, ОП-10, ОП-20, ОП-25,

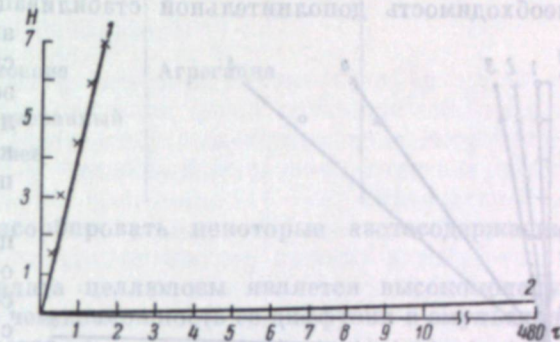


Рис. 2. Влияние добавки парафенилендиамина на скорость седиментации канальной сажи, суспензированной в спирто-ацетоновой смеси.

1 — спирто-ацетоновая смесь 55 : 45; 2 — спирто-ацетоновая смесь с добавкой 0.5% парафенилендиамина. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

парафенилендиамин и др. Эти исследования показали, что добавление поверхностно-активных веществ ОС-20 и ОП-10 в количестве до 1% от веса сажи лишь незначительно повышает устойчивость дисперсии.

С другой стороны, добавление в дисперсию небольшого количества парафенилендиамина (0.5% от веса сажи) резко повысило стабильность сажевой дисперсии (рис. 2). Однако, как известно, парафенилендиамин является проявителем цветного изображения. Вследствие небольшого молекулярного веса он может мигрировать в эмульсионный слой при контакте с лаковым.

Дальнейшие исследования показали, что правильный подбор химических растворителей ацетофталата целлюлозы, служащих одновременно дисперсионной средой для коллоидных частиц сажи, устраняет необходимость дополнительной стабилизации дисперсии парафенилендиамин.

Такой дисперсионной средой является монометилэфир этиленгликоля (метилцеллозоль), резко повышающий коллоидную стабильность дисперсии.

Защитное действие метилцеллозоля не может быть объяснено его вдвое большей вязкостью по сравнению с другими исследованными растворителями, поскольку по закону Стокса увеличение вязкости среды вдвое лишь в два раза уменьшает скорость седиментации частиц.

В действительности же скорость седиментации сажевых частиц уменьшается во много раз при использовании метилцеллозоля в качестве дисперсионной среды (рис. 3). Диффузионные характеристики растворителей также не объясняют различное влияние среды на стабильность сажевой дисперсии.

Рис. 3. Влияние природы дисперсионной среды на скорость седиментации канальной сажи.

1 — ацетон; 2 — вода; 3 — спирто-ацетоновая смесь 55 : 45; 4 — диоксан + 2% воды; 5 — диоксан; 6 — метилцеллозоль. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

Наиболее вероятная причина резкого влияния среды на стабильность сажевой дисперсии, по-видимому, заключается в различных величинах поверхностного натяжения исследованных растворителей на границе раздела с сажевой частицей.

Преимуществом метилцеллозоля является также и то, что он позволяет добавлять в лаковую дисперсию до 15% воды, что существенно ослабляет активности лака в отношении триацетатной основы, поскольку безводные органические растворители вызывают сильную деформацию последней (скручивание).

Однако во многих случаях возникает необходимость в более сильном разбавлении дисперсии водой для понижения растворяющего воздействия дисперсии на основу пленки. Между тем дальнейшее увеличение количества воды в дисперсии приводит к высаживанию ацетофталата целлюлозы (табл. 2).

Это затруднение нами было устранено путем частичной нейтрализации имеющихся в ацетофталате целлюлозы карбоксильных групп с частичным переводом ацетофталата целлюлозы в водорастворимую аммонийную соль. Введение в молекулу ацетофталата целлюлозы ограниченного количества аммонийных групп позволило увеличить совместимость дисперсии с водой при сохранении водостойкости лакового слоя. При этом одновременно резко повысилась стабильность сажевой дисперсии благодаря

Влияние содержания воды на свойства лаковой дисперсии и лакового покрытия

Количество воды в дисперсии (%)	Стабильность лаковой дисперсии	Качество лакового покрытия		
		качество диспергирования	прочность	смываемость
7	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная
10	То же	То же	То же	То же
14	» »	» »	» »	» »
15	» »	» »	» »	» »
16	В первый момент удовлетворительная, не стабильна	Расслоение	Агрегация	
28	То же	Расслоение	Агрегация	
30	Хорошая	Хорошее		

Ацетофталат, частично нейтрализованный

Аммонийная соль ацетофталата целлюлозы является высокомолекулярным соединением, в связи с чем возможность ее диффузии в эмульсионные слои полностью исключается.

Исследования показали, что черный противоореольный слой на цветных пленках обладает удовлетворительной прочностью при определении на приборе Дерстуганова, достаточно высокой химической, термостойкостью.

Нагревание основы с сажевым лаком в течение 10 суток при 50° С, также выдерживание ее при 100% относительной влажности воздуха не привели к сколько-нибудь заметному изменению слоя.

Выводы

1. Подтверждена целесообразность нанесения на цветные многослойные кинопленки черного противоореольного контрслоя на основе сажи, диспергированной в ацетофталате целлюлозы.
2. Установлены условия получения и стабилизации коллоидных дисперсий сажи в растворе ацетофталата целлюлозы.
3. Установлены условия, обеспечивающие достаточно прочную адгезию подобных лаковых слоев с основой кинопленки и вместе с тем легкую смываемость этих слоев с основы в щелочных фотографических растворах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Розенталь, А. Н. Иорданский, Техника кино и телевидения, 1, вып. 6, 1957.
2. Л. В. Розенталь, А. М. Чураева, Техника кино и телевидения, 1, вып. 8, 1957.
3. W. Hansen, W. Kisner, GSMPTE, 12, 667—701, 1953; C. Malm, L. Genning, W. Kuchmy, Anal. Ch., 25, 2, 245, 1953.
4. В. Кельцев, П. Теснер. Сажа, ее свойства, производство и применение. Гостехиздат, 1952.
5. Vanuto, Paint manufact., 24, 227—295 и 265—272, 1954.
6. Л. В. Розенталь, О. К. Смирнов, Труды НИКФИ, 4 (27), 1958.
7. Л. В. Розенталь, О. К. Смирнов, Г. И. Бурдыгина, З. К. Авербух, Авт. свид., СССР, № 108132, 1957.

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ

О ВЛИЯНИИ УСЛОВИЙ ЦВЕТНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ НА СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК

1. Постановка задачи

Одну из центральных проблем фотографической химии составляет достижение возможно более высокой светочувствительности фотографических материалов. Едва ли нужно останавливаться на том, какое значение имеет любой прогресс в этой области, в частности кинематографии.

В настоящее время основными путями достижения высокой светочувствительности служат различные эмульсионно-технологические приемы: а) применение эффективных средств химической сенсibilизации фотографических эмульсий, б) использование высокоактивных оптических сенсibilизаторов и в) повышение восприимчивости эмульсий к оптической сенсibilизации.

При использовании всех этих приемов зачастую сохранялись те же условия последующей химико-фотографической обработки материала, разработанные ранее применительно к старым типам фотографических материалов. В результате с течением времени возник разрыв между оптимальными условиями изготовления светочувствительного слоя и оптимальными условиями его проявления. Постепенно этот разрыв усиливался.

Оптимальными в сенситометрическом смысле условиями проявления данного фотографического материала будут такие, при которых возможна более высокая степень проявленности экспонированных эмульсионных кристаллов сочетается с возможно малой проявляемостью неэкспонированных кристаллов, т. е. с высокой избирательностью проявления кристаллов, значит, что восстановлению должна подвергаться совокупность кристаллов с широким диапазоном размеров центров скрытого изображения и с широким местоположением последних, иными словами с широким диапазоном значений периода индукции, при минимальной восстанавливаемости кристаллов, содержащих лишь центры вуалирования.

Многие условия такого проявления остаются пока неясными. Одни из основных среди них при проявлении черно-белых материалов являются следующие: 1) значительная истощаемость проявителя внутри проявляемого фотографического слоя, особенно на сильно экспонированных участках последнего, порождающая так называемое выравнивание действия; 2) способность проявляющего раствора к частичному восстановлению галоидосеребряных эмульсионных кристаллов в ходе проявления.

Первое из этих условий выполняется при низких окислительных восстановительных (малая концентрация проявляющего вещества) и кислотных (применение едких щелочей) буферностях проявляющего раствора, с другой стороны — при слабом диффузионном обмене компонентами проявителя и продуктами его реакций между эмульсионным

окружающим раствором. Действительно, быстрое истощение проявителя внутри слоя приводит к своеобразному явлению: фотографическое изображение на материале, погруженном в раствор постоянного во всем объеме состава, проявляется на разных своих участках проявителем различного состава, тем более отличающегося от номинального (в объеме раствора), чем сильнее экспонирован данный участок и чем больше скорость химической реакции восстановления по сравнению со скоростью диффузии. В результате в незабуференном проявителе и при слабом диффузионном обмене происходит понижение коэффициента контрастности по сравнению с тем, что имеет место в забуференном проявителе и при орошем обмене, при сохранении почти неизменными начальными участками характеристической кривой.

Более длительное проявление в быстро истощающемся в слое проявителе позволяет достичь коэффициента контрастности той же величины, что и в мало истощающемся проявителе, но тогда плотности на начальном участке характеристической кривой в случае проявления сильным истощением получаются большими; соответственно светочувствительность, оцененная по начальному участку, оказывается большей.

Рис. 1, заимствованный из статьи Г. Богданова и Н. В. Поляковой [4], подводит к изучавшим роль кислотно-основной буферности черно-белого проявителя, иллюстрирует сказанное. Мы видим, что при заданном значении коэффициента контрастности светочувствительность слоя, проявленного в слабобуференном проявителе, всегда существенно выше, чем проявленного в хорошо забуференном растворе аналогичного по остальным компонентам состава, обладающем тем же рН.

Аналогичное повышение светочувствительности черно-белых материалов наблюдается при снижении концентрации проявляющего вещества в растворе, компенсируемом, с точки зрения активности проявителя, повышением Н. Можно думать, что так же должно действовать относительное замедление диффузионного обмена при заданном составе проявителя, вызывая повышение температуры проявителя, только ускоряющее скорость восстановительного процесса в чистом виде, ослабление перемешивания проявляющего раствора, приводящее к образованию более или менее толстого переходного по составу слоя раствора около поверхности эмульсионного слоя, и некоторые другие факторы.

Многослойные цветные материалы в отношении их кинетики проявления обладают специфическими отличиями от однослойных черно-белых материалов. Очевидно, что условия диффузионного обмена компонентами проявителя между раствором и слоем зависят от того, имеем ли мы дело верхним, средним или нижним слоем [2, 3]. Поэтому влияние степени буферности проявителя на форму характеристической кривой может быть существенно различным для трех элементарных слоев и, в частности, приводить к изменению характера сбалансированности свойств этих слоев.

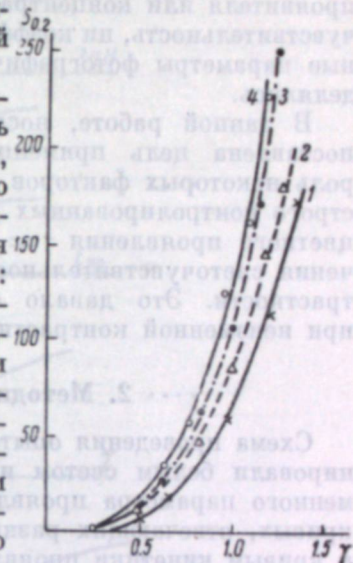


Рис. 1. Зависимость светочувствительности черно-белой пленки Панхром X от коэффициента контрастности при проявлении в проявителях типа № 2 по ГОСТ-281750 с разными щелочами (по Богданову и Поляковой).

1 — сода; 2 — маннитоксид натрия; 3 — этаноламин; 4 — едкий натр.

Зависимость хода цветного проявления от состава проявителя исследовалась К. С. Ляликовым с сотрудниками [4], Г. П. Фаерманом, Н. Н. Шишкиной [5], В. А. Вейденбахом и Е. А. Карповичем, Н. И. Кирилловым и Н. Е. Кирилловой [7]. Но даже наиболее систематические исследования [5, 6] не дают возможности выявить характер влияния состава цветного проявителя на светочувствительность проявляемых многослойных пленок. Это объясняется тем, что характер кинетики проявления оценивался в этих работах изменением величины фотографического эффекта (поверхностной концентрации красителя) при заданных экспозиции и времени проявления от переменного параметра — проявителя или концентрации проявляющего вещества в нем. Ни светочувствительность, ни коэффициенты контрастности — наиболее существенные параметры фотографического материала — в этих работах не определялись.

В данной работе, носящей лишь предварительный характер, поставлена цель применительно к негативным кинопленкам изучить роль некоторых факторов при цветном проявлении в сенситометрических строго контролируемых условиях. Строились полные кривые кинетики цветного проявления $\gamma = f'(t_{np})$ и $S = f''(t_{np})$ и находились по ним значения светочувствительности при заданной величине коэффициента контрастности. Это давало суждение об изменении светочувствительности при неизменной контрастности изображения.

2. Методика и объекты исследования

Схема проведения опытов показана на рис. 2. Сначала пленки проявляли белым светом и для нескольких дискретных значений переменного параметра проявления получали семейство характеристических кривых, отвечающих разным временам проявления. Отсюда переходили к кривым кинетики проявления, далее строили кривые зависимости светочувствительности каждого из элементарных слоев многослойной пленки от коэффициента контрастности. По совокупности всех этих кривых строили окончательные искомые зависимости светочувствительности S_i от заданного значения γ от переменного параметра проявления; при заданных значениях γ выбиралось несколько. Фотографический эффект на разных полях выражался в приведенных к серому поверхностных концентрациях красителей в каждом из элементарных слоев $c'_{ж}$, $c'_{к}$ (в единицах ФЭСП в случае негативных полей и в единицах ВЭСП в случае полей позитивных), находимых по результатам измерений γ в трех избранных длинах волн [9]. Светочувствительность элементарных слоев определялась по критерию $c' = 0.5 + c'_v$.

Переменными параметрами проявления были:

- 1) температура проявителя T в пределах от 14 до 30°C при обычном составе цветного проявителя;¹
- 2) концентрация проявляющего вещества c_{Red} в пределах от 0.010 до 0.030 M при $T = 18^\circ\text{C}$, обычном в остальных отношениях составе проявителя и заданном $pH = 11.3$ или при пониженной кислотности буферности (замена 50 г поташа из общего количества 75 г калием в таком количестве, чтобы pH исходного раствора составляло 11.0 ± 0.2);
- 3) pH проявителя в пределах от 9.4 до 12.1 при собственном составу обычного состава $c_{Red} = 0.010 M$ и $T = 18^\circ\text{C}$.

¹ Проявитель обычного состава содержал на 1 л раствора 2.75 г сернистой диэтилпарафенилдиамин (с $c_{Red} = 0.010 M$), 75 г поташа, 1.2 г гидроксидометилпарафенилдиамин, 2 г сульфата безводного, 2.5 г бромистого калия; $pH = 11.3$.

Опыты производились с несколькими образцами отечественных негативных многослойных кинопленок ДС-2 и ЛН-3, а также с негативной пленкой «Ферранияколор».

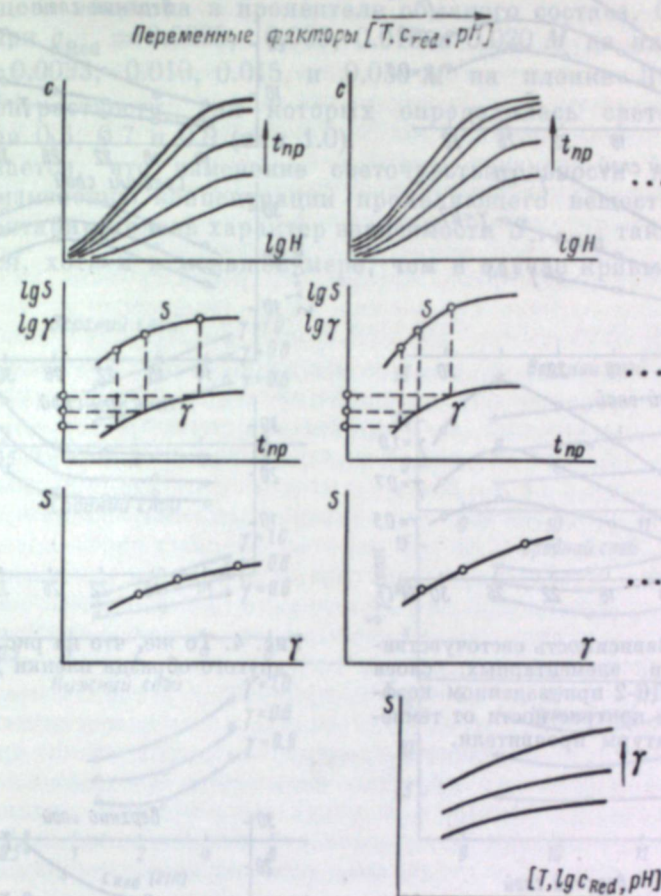


Рис. 2. Схема проведения опытов и обработки их результатов.

При проявлении производилось активное перемешивание раствора резиновой кистью. Все опыты проводились дважды.

3. Результаты опытов и их обсуждение

Опыты по влиянию температуры проявителя производились для четырех материалов и дали в общем сходные результаты. На рис. 3 и 4 показаны результаты для каждого элементарного слоя двух образцов пленок ДС-2 в отдельности. Опыты производились при температуре (T), равной 14, 18, 22, 26 и 30°C, а кривые S_i строились для трех значений коэффициента контрастности: 0.5, 0.7 и 1.0.

Мы видим, что температура проявителя во всех случаях существенно влияет на светочувствительность слоя. Но как для разных слоев одной пленки, так и для разных образцов пленок это влияние носит количественно различный характер, не связанный с положением слоя в пленке. В одних случаях светочувствительность при $\gamma = \text{const}$ монотонно возрастает с ростом температуры, обнаруживая иногда перелом на кривой дальнейшего более быстрого возрастания S_i ; в других случаях кри-

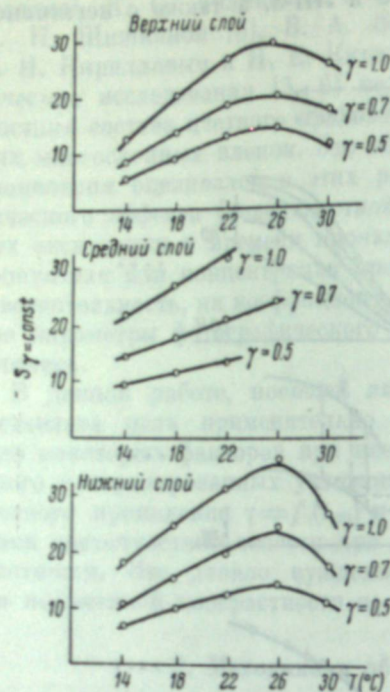


Рис. 3. Зависимость светочувствительности элементарных слоев пленки ДС-2 при заданном коэффициенте контрастности от температуры проявителя.

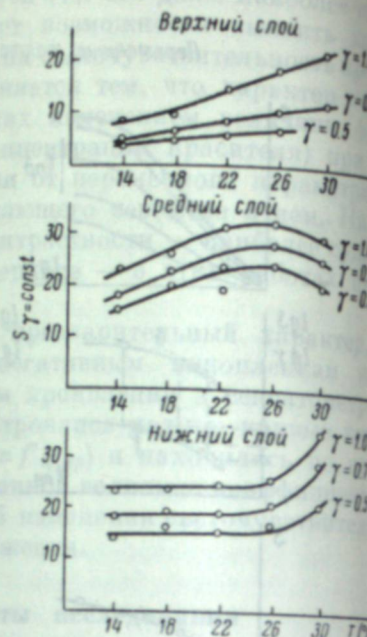


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для другого образца пленки ДС-2.

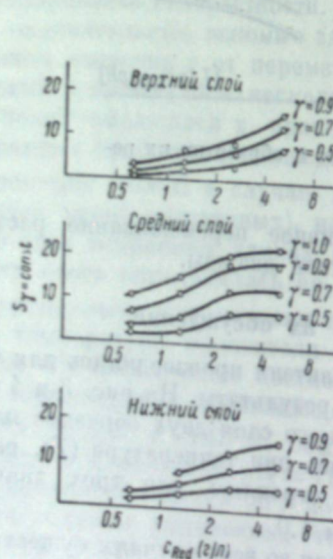


Рис. 5. Зависимость светочувствительности элементарных слоев пленки ДС-2 от содержания диэтилпарафенилендиамина в проявителе обычного состава.

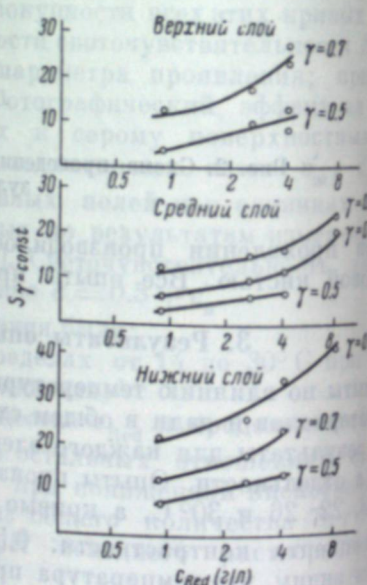


Рис. 6. То же, что на рис. 3, для пленки ЛН-3.

ая S_γ , T проходит через максимум. И перелом кривых, и возникновение максимума наблюдаются обычно при $T = 24 \div 26^\circ \text{C}$.

На рис. 5 и 6 приведены результаты опытов по выяснению характера изменения светочувствительности при изменении концентрации проявляющего вещества в проявителе обычного состава. Опыты производились при $c_{\text{Red}} = 0.0025, 0.005, 0.010$ и 0.020 M на пленке ДС-2 и при $c_{\text{Red}} = 0.0033, 0.010, 0.015$ и 0.030 M на пленке ЛН-3. Коэффициенты контрастности, для которых определялась светочувствительность, были 0.5, 0.7 и 0.9 (или 1.0).

Оказывается, что изменение светочувствительности при $\gamma = \text{const}$ аналогично изменению концентрации проявляющего вещества. Для разных элементарных слоев характер зависимости S_γ , c_{Red} также несколько различается, хотя и в меньшей мере, чем в случае кривых S_γ , T .

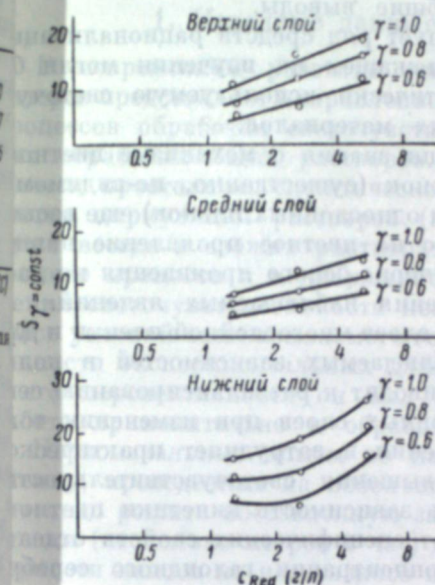


Рис. 7. Зависимость светочувствительности элементарных слоев пленки ДС-2 от содержания диэтилпарафенилендиамина в проявителе с пониженной кислотно-основной буферностью.

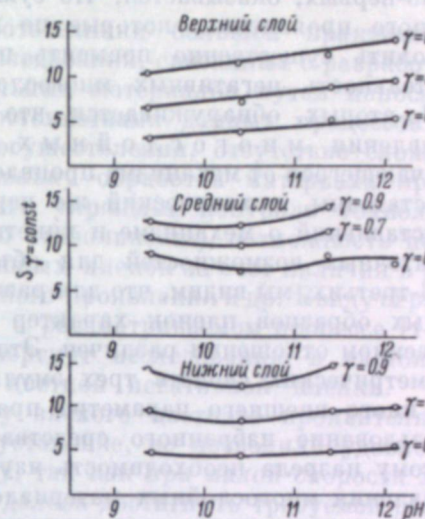


Рис. 8. Зависимость светочувствительности элементарных слоев пленки ДС-2 от pH проявителя обычного состава.

Аналогичная картина имеет место и при изменении концентрации проявляющего вещества в проявителе с пониженной кислотно-основной уферностью. Вопреки ожиданию, характер кривых S_γ , c_{Red} в этом лучае (рис. 7) не отличается от того, что имеет место в проявителе бычного состава.

Можно было ожидать, что понижение концентрации проявляющего вещества, уменьшая окислительно-восстановительную буферность цветного проявителя, будет так же повышать светочувствительность при $= \text{const}$, как это производит понижение кислотно-основной буферности черно-белых проявителей [1].

Произошло, однако, обратное: увеличение скорости проявления при увеличении содержания диэтилпарафенилендиамина оказало столь же оложительное влияние на относительную проявляемость экспонированных кристаллов галоидного серебра, как и ускорение скорости простым повышением температуры проявителя.

Наконец, опыты с изменением щелочности проявителя производились при $pH=9.4, 10.4, 11.4$ и 12.1 для пленки ДС-2. Здесь, как видно из рисунка, имеет место довольно слабое и неопределенное влияние pH на светочувствительность при $\gamma = \text{const}$. Существенное изменение скорости проявления в данном случае, в отличие от изменения ее путем регулирования концентрации проявляющего вещества, почти не отражается на относительной проявляемости экспонированных кристаллов галоидного серебра.

Следует отметить, что, по утверждению А. Вжесинского [8], понижение pH проявителя приводит к существенному повышению наблюдаемой при постоянном времени проявления светочувствительности. Однако определение по экспериментальным данным этого автора значения показывает, что по крайней мере от $pH=10.7$ и выше светочувствительность при $\gamma = \text{const}$ мало меняется с изменением pH .

Из всех этих результатов, которые мы рассматриваем как предельные, можно сделать следующие общие выводы.

Во-первых, оказывается, что существует ряд средств рационального цветного проявления, которые по надлежащем их изучении могут позволить существенно повысить практически используемую светочувствительность негативных многослойных материалов.

Во-вторых, обнаруживается, что наши знания о механизме цветного проявления многослойных пленок (существенно, по-видимому, отличающегося от механизма проявления однослойных пленок) еще недостаточны, механический же перенос на цветное проявление представлений о механизме и кинетике черно-белого проявления недостаточных возможностей для объяснения наблюдаемых явлений.

В-третьих, мы видим, что для разных слоев многослойной пленки в разных образцах пленок характер наблюдаемых зависимостей в существенном отношении различен. Это приводит к разбалансированию цитометрических свойств трех эмульсионных слоев при изменении или иного внешнего параметра проявления и затрудняет практическое использование избранного средства повышения светочувствительности. Поэтому назрела необходимость изучить зависимость кинетики цветного проявления многослойных материалов от специфических свойств отдельных слоев последних: их толщины, концентрации галоидного серебра в них и т. д.

Опыты проводились при участии Н. Б. Варшавской, Н. А. Карциной, Л. К. Локуциевской, Н. М. Молочковой и Б. Б. Штыкан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. Г. Богданов, Н. В. Полякова, Журн. прикл. химии, 23, 702—703, 1950; Усп. научн. фотографии, III, 204—211, 1955; IV, 202—209, 1955.
- [2] Д. К. Балабуха, Ю. Н. Гороховский, Докл. АН СССР, 79, 969—970, 1951; Усп. научн. фотографии, II, 119—130, 1954.
- [3] Ю. Н. Гороховский, А. Н. Каючина-Ликсено, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., I, 23—28, 1956.
- [4] К. С. Ляликов, Б. А. Царев, Я. Л. Лейбов, В. Н. Курьянов, Усп. научн. фотографии, II, 38—47, 1954.
- [5] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шишкина, Усп. научн. фотографии, II, 63—64, 1954.
- [6] В. А. Вейденбах, Е. А. Карпович, Усп. научн. фотографии, II, 56—57, 1954.
- [7] Н. И. Кириллов, Н. Е. Кириллова, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 39—41, 1958.
- [8] А. Вжесинский. Исследование в области совершенствования процесса обработки цветной негативной пленки. Автореф. канд. дисс., М., 1958.
- [9] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшков, Усп. научн. фотографии, V, 127—144, 1957.

А. ВЖЕСИНСКИЙ, Н. И. КИРИЛЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ЦВЕТНЫХ НЕГАТИВНЫХ ПЛЕНОК ПУТЕМ НАНОСА НА НИХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ РАСТВОРОВ

1. Исходные данные и методика исследования

В современном развитии кинофототехники большой практический интерес представляет направление исследований, связанных с разработкой процессов обработки светочувствительных материалов путем нанесения на них обрабатывающих растворов. Достоинствами данных процессов являются простота их практического осуществления, отсутствие сложных систем циркуляции растворов (поскольку обработка материала проводится всегда в свежих растворах, что упрощает контроль технологического процесса и поддержание его стабильности), возможность повышения светочувствительности негативных пленок за счет наличия в процессе условий так называемого голодного проявления и др. Ввиду ограниченности экспериментальных данных о рассматриваемом процессе [1—3] перспективности он был подвергнут исследованию в настоящей работе применительно к обработке цветной негативной пленки.

Первоначальные опыты по нанесению вязкого цветного проявителя на пленку, проведенные на небольшой установке, не позволили удовлетворительно решить поставленную задачу, так как при малой скорости хода пленки (несколько метров в час) не удалось достигнуть требуемой равномерности нанесения на нее вязкого проявителя. В связи с этим была специально переоборудована лабораторная проявочная машина, причем для нанесения вязкого проявляющего раствора на пленку перед ее входом в машину было смонтировано роlikовое устройство, разработанное ранее НИКФИ для раздельной обработки цветной позитивной пленки [4]. В этом устройстве был соответственно заменен набрасывающий валик более широким для обеспечения нанесения проявляющего раствора по всей ширине пленки (между перфорационными отверстиями). Смонтированное к проявочной машине роlikовое устройство было испытано в различных вариантах при скорости хода пленки около 100 м/час.

Способ нанесения вязкого проявителя на пленку с прохождением ее вместе купающимся роlikом через проявляющий раствор оказался непригодным вследствие обнаруженного «эффекта перфорации», заключающегося в изменении плотности изображения (пятна и полосы), что особенно резко наблюдалось при просмотре обработанных роlikов пленки на экране. Недостатком этого способа является также большой расход проявителя (наносится на обе стороны пленки), скопление и окисление его на зубчатых роliках лентопротяжного механизма, вызывающее дополнительное местное перемешивание раствора на пленке, а тем самым и неравномерность проявления. В связи с этим предполагавшееся достоинство рассматриваемого способа, заключающееся в одновременном обесцвечивании зеленого противоореального слоя пленки, практически не смогло быть реализовано.

Хорошие результаты для обеспечения равномерности наноса проявляющего раствора на цветную негативную пленку дало использование роликового устройства НИКФИ [4] с установкой ограничительных ножей у краев перфораций, что препятствует растеканию по ним раствора. В этом случае оказалось, что обесцвечивание противоореального слоя происходит во время промывки пленки ее цветного проявления, поскольку в промывной воде первых накапливается щелочь, заносимая с проявленной пленкой.

Было также испытано устройство с прохождением пленки вательно через два ролика с бортиками, которые в нижней своей купаются в вязком проявителе, причем избыток захватываемого им раствора с боков удаляется с помощью специальных раклей (ограничитель для раствора). Полученные с этим устройством в общем обнадеживающие результаты не были, однако, окончательно отработаны в связи с

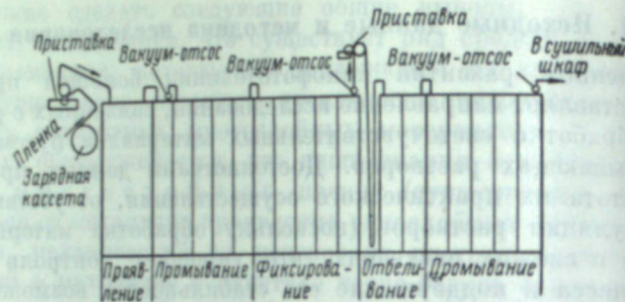


Рис. 1. Схема лабораторной проявочной машины, переоборудованной для обработки цветной негативной пленки с наносом на нее проявляющего и отбеливающего растворов. Скорость хода пленки — 120 м/час.

возможностью проведения дополнительных конструкторских разработок, не входивших в программу нашего исследования.

После наноса вязкого проявителя пленка проходила через секции проявочной машины в течение установленной продолжительности ее проявления.

Исследование показало, что для обеспечения равномерного проявления цветной негативной пленки при нанесе на нее вязкого проявляющего раствора очень важное значение имеет равномерное удаление его с поверхности пленки на промывку, во время которой происходит проявление. Неравномерное удаление вязкого раствора перед проявлением пленки служит одной из причин образования различных полос и дефектов в получаемом изображении вследствие неодинаковых условий допирания разных участков пленки во время промывки. Этот недостаток удалось возможным устранить установкой на выходе пленки из промывочного бака вакуум-отсоса, успешно используемого при разделке цветной позитивной пленки для удаления избытка раствора с ее поверхности [4]. Рабочее давление внутри вакуум-отсоса составляет 600—650 мм ртутного столба. Легко сменяемый во время работы вакуум-отсоса позволяет следить за чистотой резиновых губок и заменять их в случае загрязнения.

В проведенном исследовании для обработки цветной негативной пленки применялась последовательность операций, обусловливаемая процессом НИКФИ, который отличается простотой и большей стабильностью получаемых результатов по сравнению с обычным процессом [5, 6]. Проявлялась пленка обычным способом в слабодокислом фиксаже. Таким образом проводилась промывка пленки (в проточной воде с

с помощью душевыми устройствами во время окончательной промывки). Что же касается отбеливания, то, исходя из предварительных испытаний, оно проводилось путем наноса на пленку маловязкого отбеливающего раствора, подобно тому, как это рекомендовано в процессе НИКФИ для обработки цветной позитивной пленки с раздельным отбеливанием цветного изображения [4]. Чтобы полностью устранить недостаток процесса НИКФИ, заключающийся в уменьшении стабильности свойств рабочего проявляющего раствора вследствие занесения в него фиксирующего раствора вместе с обрабатываемой пленкой, к проявочной машине было монтировано видоизмененное роликовое устройство НИКФИ [4], приспособленное для бокового наноса отбеливающего раствора на пленку [2]. Такой нанос раствора на пленку является практически более удобным, поскольку позволяет устанавливать устройство в любом месте лентопрокатного тракта проявочной машины и устраняет необходимость последующего перевертывания пленки, что требуется при обычном (горизонтальном) монтаже его к проявочной машине.

Схема переоборудованной лабораторной проявочной машины для исследования процесса обработки цветных негативных пленок с наносом проявляющего и отбеливающего растворов показана на рис. 1. Рецептура применявшихся растворов и режимы обработки цветной негативной пленки в исследованных процессах в проявочной машине и в лабораторных условиях приводятся в табл. 1 и 2. Укажем, что рецептура применявшихся обрабатывающих растворов для исследованного нового процесса была принята после ряда предварительных опытов.

Таблица 1

Рецептура растворов, применявшихся при сравнительном исследовании разных процессов обработки цветных негативных пленок

Компоненты растворов	Обычный процесс	Исследованный новый процесс
Цветной проявитель		
Диэтил-л-фенилендиамин-сульфат	2.75 г	5.0 г
Сульфит натрия безводный	2.0 г	2.0 г
Гидроксиламин-сульфат	1.2 г	2.0 г
Бромистый калий	2.0 г	0.75 г
Поташ	60.0 г	60.0 г
Динатриевая соль этилендиамин + тетрауксусной кислоты	2.0 г	2.0 г
Смачиватель СВ-133 (14%-й водный раствор)	—	20 мл
Na-KMЦ (10%-й водный раствор)	—	450 мл
Вода	до 1 л	до 1 л
pH при 20°С	10.65	10.5
Вязкость при 20°С	—	~ 85 сантипуаз
Фиксаж		
Тиосульфат натрия кристаллический	250 г	250 г
Сульфит натрия безводный	20 г	20 г
Серная кислота, уд. вес 1.84	1.5 мл	1.5 мл
Вода	до 1 л	до 1 л
Отбеливающий раствор		
Железосинеродистый калий	60 г	60 г
Na-KMЦ (10%-й водный раствор)	—	200 мл
Смачиватель СВ-133 (14%-й водный раствор)	—	20 мл
Вода	до 1 л	до 1 л
Вязкость при 20°С	—	~ 30 сантипуаз

Режимы обработки цветных негативных пленок при сравнительном исследовании разных процессов

Операция	Обычная лабораторная обработка		Исследованный новый процесс (в проявочной машине)	
	продолжительность (мин.)	температура (°C)	продолжительность (мин.)	температура (°C)
Цветное проявление	3—12	20	3—12	20—23
Промывание 1-е	5	10—15	6	10—15
Фиксирование	10	17—20	7.5	18—20
Обезжелезивание и подсушивание пленки	—	—	0.5	20—23
Отбеливание	6	17—20	4.5	18—20
Промывание 2-е	10	10—15	10	10—15
Всего	34—43		31.5—40.5	

2. Результаты исследования и их обсуждение

В проведенном исследовании сравнительной обработке в выбранных процессах были подвергнуты различные образцы отечественных цветных пленок ДС-2, ДС-3 и ЛН-3. Экспонирование их проводилось об-

Сенситометрические показатели разных цветных негативных пленок фабрики № 3, обработанных в обычном процессе и с наносом на них проявляющего и отбеливающего растворов

Пленка	Продолжительность проявления (мин.)					$S_{D_{0.85}}$									
		с	а	к	E_T	с	а	к	E_s	с	а	к	E_s		
Обычный процесс															
ДС-2	{	3	0.54	0.42	0.37	0.17	3.9	0.73	2.3	5.3	0.24	0.17	0.17	0.17	
		4	0.77	0.60	0.50	0.27	11.8	7.8	13	1.7	0.25	0.25	0.25	0.25	
		6	1.14	0.85	0.82	0.32	35	25.5	54	2.1	0.31	0.31	0.31	0.31	
		8	1.32	1.03	1.18	0.29	71	55	112	2.0	0.38	0.38	0.38	0.38	
ДС-3	{	4	0.56	0.49	0.54	0.07	5.2	4.4	4.0	1.3	0.17	0.17	0.17	0.17	
		6	0.91	0.80	0.82	0.11	30	29	26	1.1	0.22	0.22	0.22	0.22	
		8	1.18	1.08	1.05	0.13	55	52	48	1.1	0.27	0.27	0.27	0.27	
		10	1.48	1.38	1.38	0.10	1.8	1.3	1.0	1.8	0.18	0.18	0.18	0.18	
ЛН-3	{	4	0.48	0.38	0.38	0.10	1.8	1.3	1.0	1.8	0.18	0.18	0.18	0.18	
		6	0.74	0.66	0.62	0.12	10	8	5.8	1.7	0.19	0.19	0.19	0.19	
		8	1.21	1.04	0.93	0.27	25	26	18	1.4	0.26	0.26	0.26	0.26	
		10	1.48	1.38	1.38	0.10	1.8	1.3	1.0	1.8	0.18	0.18	0.18	0.18	
Исследованный новый процесс															
ДС-2	{	3.5	0.69	0.50	0.37	0.22	4.0	1.0	0.57	7.0	0.17	0.17	0.17	0.17	
		5	0.73	0.58	0.47	0.26	10.2	6.7	3.6	2.8	0.22	0.22	0.22	0.22	
		7	0.81	0.69	0.60	0.21	22.5	17	17	1.3	0.24	0.24	0.24	0.24	
		11	0.84	0.78	0.75	0.09	31	35	38	1.1	0.28	0.28	0.28	0.28	
ДС-3	{	6	0.65	0.70	0.61	0.09	7.1	10	7.0	1.4	0.10	0.10	0.10	0.10	
		8	0.73	0.84	0.75	0.11	20	24	18	1.3	0.14	0.14	0.14	0.14	
		10	0.82	0.93	0.89	0.11	29	35	30	1.2	0.19	0.19	0.19	0.19	
		10	0.54	0.53	0.59	0.06	1.0	1.5	2.3	2.3	0.16	0.16	0.16	0.16	
ЛН-3	{	6	0.58	0.61	0.66	0.08	2.0	3.8	6.0	3.0	0.16	0.16	0.16	0.16	
		8	0.58	0.61	0.66	0.08	2.0	3.8	6.0	3.0	0.16	0.16	0.16	0.16	
		10	0.60	0.66	0.68	0.08	5	9.8	14	2.8	0.17	0.17	0.17	0.17	
		10	0.60	0.66	0.68	0.08	5	9.8	14	2.8	0.17	0.17	0.17	0.17	

способом в цветном сенситометре ЦС-2. Готовые сенситограммы променялись на цветном денситометре ЦД-4, по полученным данным строились характеристические кривые.

Результаты выполненного сравнительного сенситометрического исследования обработки разных типов цветных негативных многослойных пленок

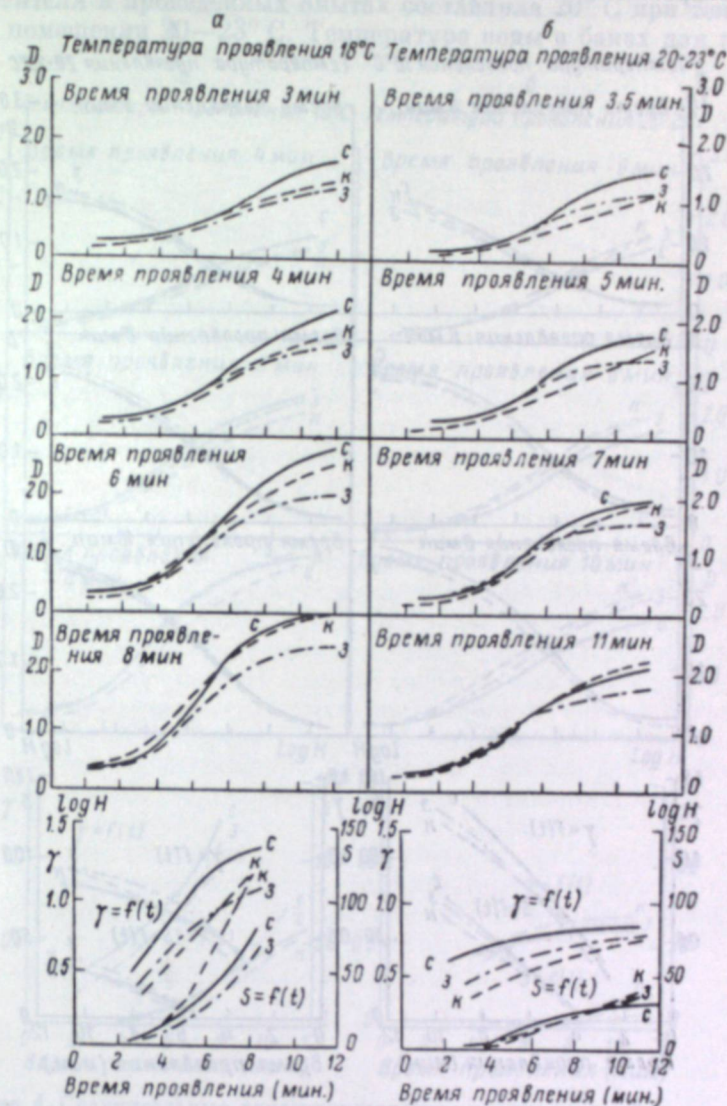


Рис. 2. Сравнительные характеристические кривые цветной негативной пленки ДС-2 фабрики № 3, обработанной в обычном процессе (а) и с наносом на нее вязкого проявителя (б).

обычных лабораторных условиях и с наносом на них обрабатывающих растворов в проявочной машине приводятся в табл. 3 и на рис. 2—4.

Полученные экспериментальные результаты показывают, что при одной той же рецептуре вязкого цветного проявителя, но с предварительным определением требуемой продолжительности проявления (по кривым $\gamma = f(t)$), все исследованные типы цветных негативных пленок с необходимой равномерностью проявления до рекомендуемого коэффициента контрастности ($\sim 0.7—0.8$) можно обрабатывать в новом процессе с наносом растворов. При этом получаемый цветовой баланс пленок по коэффициенту

контрастности и светочувствительности не только не хуже, но в целом лучше цветового баланса пленок тех же типов, обработанных в обычном процессе. По стабильности получаемых сенситометрических показаний и цветовому балансу обрабатываемых пленок при изменении продолжительности проявления исследованный новый процесс имеет преимущество.

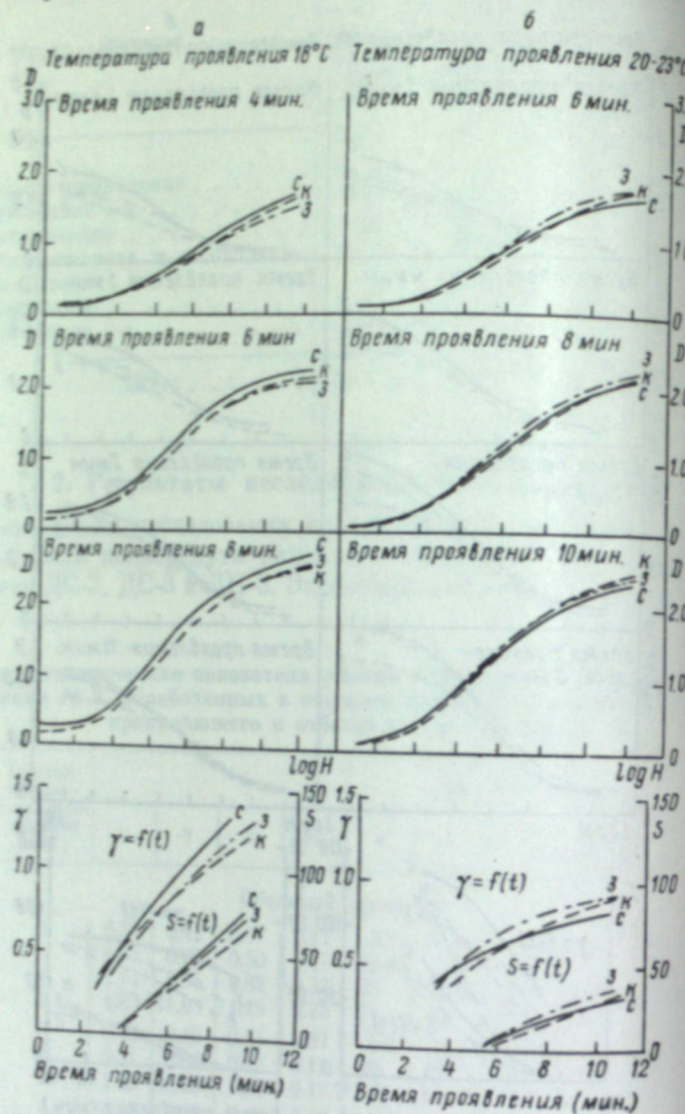


Рис. 3. Сравнительные характеристические кривые цветной негативной пленки ДС-3 фабрики № 3, обработанной в обычном процессе (а) и с нанесом на нее вязкого проявителя (б).

по сравнению с обычным процессом; можно также заметить и некоторое повышение светочувствительности обрабатываемых пленок.

Следует указать, что положительные результаты были получены в дополнительных опытах с обработкой в исследованном новом процессе цветной негативной пленки ДС-5 (с маскирующими компонентами) и цветной негативной пленки «Геваколор» тип-652. При этом выяснялось, в какой мере на получаемые результаты влияет допроявление во время их промывания после цветного проявления.

Исследование допроявления цветной негативной пленки при обработке с нанесом проявляющего и отбеливающего растворов про-

ведет к поддержанию равной 10° С посредством электрического термостата. Методика проведения исследования (экспонирование пленки, измерение сенситограмм и т. п.) применялась та же, что и в предыдущем разделе работы. Результаты выполненного исследования приводятся в табл. 4 и на рис. 5.

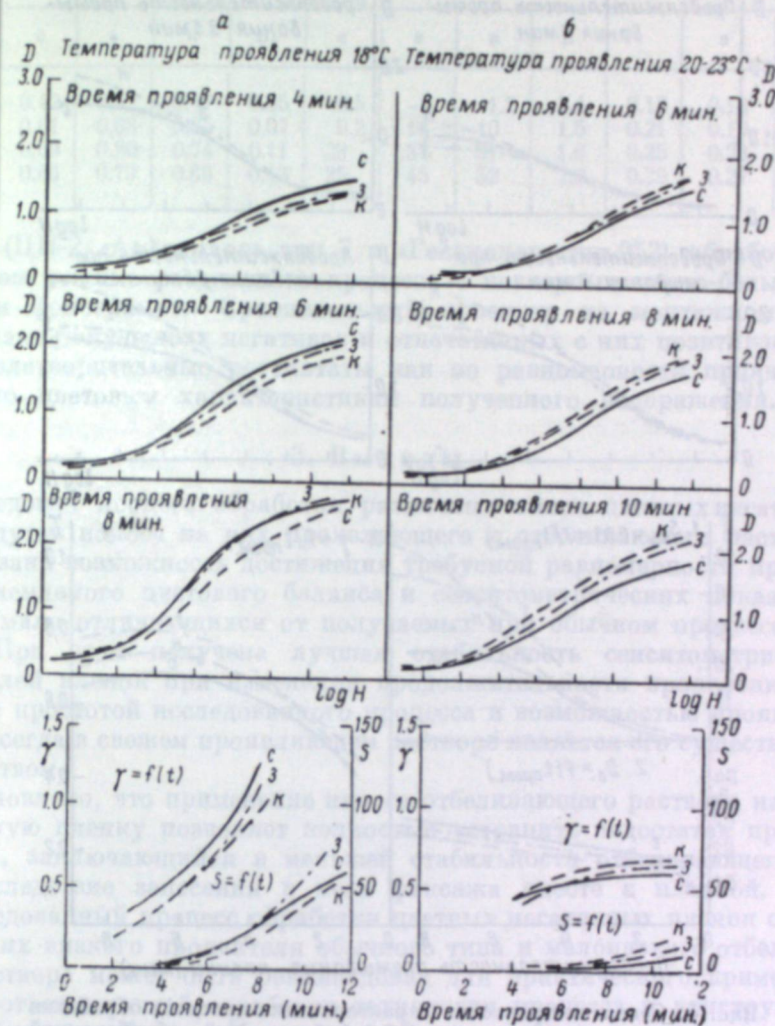


Рис. 4. Сравнительные характеристические кривые цветной негативной пленки ЛН-3 фабрики № 3, обработанной в обычном процессе (а) и с нанесом на нее вязкого проявителя (б).

Исследованных условиях обработки цветной негативной пленки с нанесом на нее проявляющего раствора, как можно было предполагать, происходит существенное допроявление пленки во время промывания после цветного проявления. Такое положение объясняется тем, что в исследованном новом процессе с целью получения удовлетворительного баланса

при обработке пленок использовался цветной проявитель, по сути подобный проявителю, применяемому в обычном процессе с pH=10.5. Следует, однако, иметь в виду, что наличие в исследуемом процессе проявления пленки не снижает его преимущества по сравнению с обычным процессом [1—3]. Устранение же в нем допроявления связано

Таблица 4

Сенситометрические показатели цветной негативной пленки ДС-2 фабрики № 3, обработанной с наносом проявляющего и отбеливающего растворов при разной продолжительности ее промывания после цветного проявления (температура воды 10°C)

Дол- жель- ность ыва- мин.)	γ				$S_{D_0+0.85}$				D_0		
	с	з	к	E_{γ}	с	з	к	Б		з	к
	0.42	0.43	0.47	0.05	0.5	—	1.2	2.4	0.18	0.16	0.15
.5	0.61	0.68	0.65	0.07	9.2	14	10	1.5	0.21	0.19	0.18
.5	0.69	0.80	0.74	0.11	23	37	31	1.6	0.25	0.23	0.22
.5	0.66	0.79	0.69	0.13	25	45	52	2.0	0.29	0.27	0.26

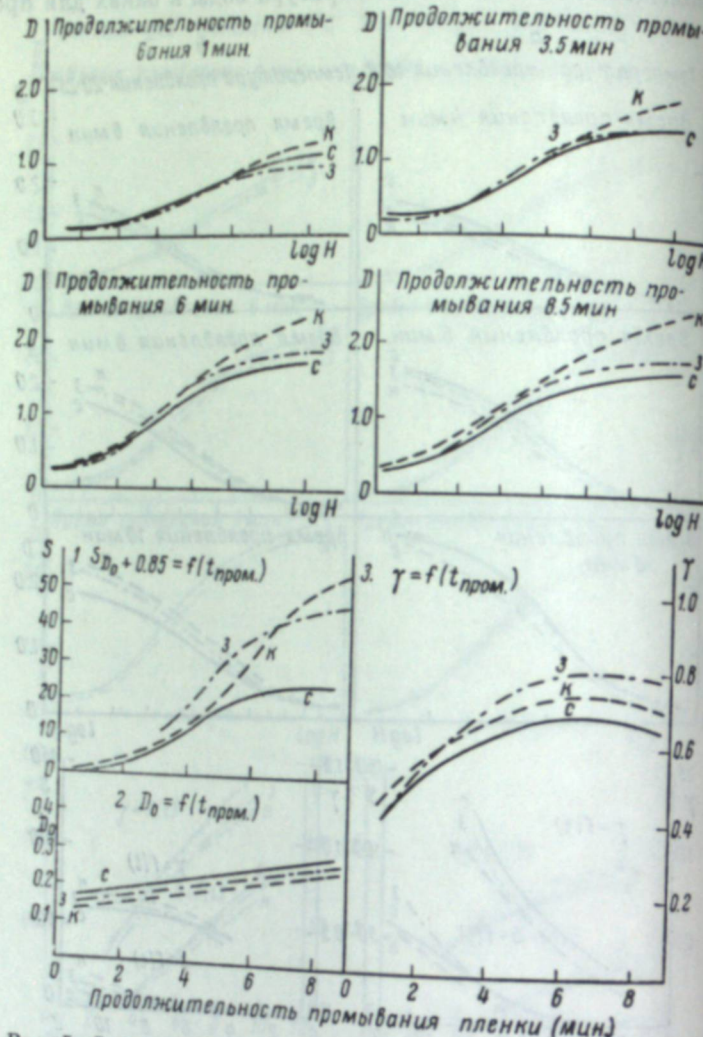


Рис. 5. Сенситометрическая характеристика процесса обработки цветной негативной пленки ДС-2 фабрики № 3, обработанной с наносом на нее вязкого проявителя обычного типа (pH=10.5) при разной продолжительности промывания после проявления. Температура воды 18°C.

как и в обычном процессе, с применением слабощелочных цветных проявителей выравнивающего типа [7].

После выполнения лабораторного исследования была проведена проверка разработанного процесса на экспериментальной новке по обработке роликов цветной негативной пленки ДС-2 со с на ней изображением. Режим обработки этих роликов был таки как и в лабораторном исследовании (табл. 1 и 2); для сравнения по ных результатов один из роликов экспонированной пленки был и лельно обработан в проявочной машине в нормальном режиме об процесса для цветной негативной пленки. С полученных негативов затем напечатаны позитивные копии на различных цветных позити

нках (ЦП-2, «Агфакolor» тип 7 и «Гевакolor» тип 952), обработанные бычным режиме раздельного процесса с повторным черно-белым про нием фонограммы. Сравнительный просмотр на монтажном столе а экране полученных негативов и отпечатанных с них позитивов пока- удовлетворительные результаты как по равномерности проявления, и по цветовым характеристикам полученного изображения.

3. Выводы

Исследован процесс обработки различных типов цветных негативных нок путем наноса на них проявляющего и отбеливающего растворов. Показана возможность достижения требуемой равномерности проявле- , приемлемого цветового баланса и сенситометрических показателей нок, мало отличающихся от получаемых при обычном процессе отра- ки. При этом получена лучшая стабильность сенситометрических азателей пленок при изменении продолжительности проявления, что яду с простотой исследованного процесса и возможностью проявления нок всегда в свежем проявляющем растворе является его существенным гоинством.

Установлено, что применение наноса отбеливающего раствора на обра- ваемую пленку позволяет полностью устранить недостаток процесса КФИ, заключающийся в меньшей стабильности отбеливающего рас- ра вследствие занесения в него фиксажа вместе с пленкой.

Исследованный процесс обработки цветных негативных пленок с нано- на них вязкого проявителя обычного типа и маловязкого отбеливаю- го раствора может быть рекомендован для практического применения ле соответствующей отработки технологии процесса и конструирова- требуемого оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

- Н. Г. Масленкова, Н. И. Кириллов, Техника кино и телевидения, 1, вып. 3, 63—67, 1957; Труды НИКФИ, вып. 5 (15), 27—35, 1957.
- С. М. Леви, Н. Г. Масленкова, Н. И. Кириллов, Техника кино и телевидения, 3, вып. 12, 1959.
- А. Wzresinsky, Techn. kinematogr. (Warszawa), № 9, 32—35, 1957.
- А. П. Стрельникова, Н. И. Кириллов, Техника кино и телевидения, 1, вып. 5, 49—56, 1957.
- Н. И. Кириллов, С. М. Антонов, Г. С. Повх, Н. Е. Кириллова, Усп. научн. фотографии, IV, 268—280, 1955.
- Ц. С. Ариольд, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, № 3, 182—190, 1958; Труды НИКФИ, вып. 29, 43—58, 1959.
- А. Вжесинский, Н. И. Кириллов, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 7, 5—19, 1962.

В. Я. МИХАЙЛОВ

ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ТИПОВОГО ЦВЕТНОГО ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЛИЯНИЕ ИХ НА КАЧЕСТВО ЦВЕТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Свойства цветофотографических материалов, имеющих более сложное строение по сравнению с черно-белыми, должны в большей степени у последних, зависеть от условий проведения процесса обработки. Принципиально правильная точка зрения привела к крайности и мнению, что наиболее точное цветовоспроизведение возможно лишь при условии точного соблюдения рецептуры и режима, рекомендуемых фабрикой, производящей цветофотографические материалы, и растущих на машинную обработку, осуществляемую на киностудиях и копировальных фабриках. Однако далеко не во всех случаях применение цветных пленок возможно использование проявочных машин. Поэтому с целью ее упрощения. При этом было установлено, что в ряде случаев допустимы значительные отступления от нее можно получать изображения, по качеству цветовоспроизведения не уступающие обычным путем.

Применение диэтилпарафенилендиамина в качестве проявляющего вещества весьма нежелательно ввиду его явно выраженной ядовитости. Как показали специальные опыты [1], вполне возможна замена его оксиэтилпарафенилендиамин; при этом дополнительно было выяснено, что, изменяя концентрацию проявляющего вещества в растворе от 5 г/л, можно влиять на величину коэффициента контрастности без ущерба для контрастности. Подробнее на этих исследованиях мы не останавливаемся, так как в настоящее время возможность замены диэтилпарафенилендиамина этилоксиэтилпарафенилендиамин установлена также Н. И. Рилловым [2] и подтверждена в новейшей рецептуре, опубликованной фирмой «Агфа» [3]. В стандарте на испытание многослойных цветофотографических материалов [4] в качестве проявляющего вещества аэропленки рекомендован этилоксиэтилпарафенилендиамин.

В производственных условиях нежелательно применение в силу его гигроскопичности. При замене поташа содой наблюдается небольшое уменьшение активности проявляющего раствора, но, если проводить сопоставление при одной и той же величине средней вуали, то получаются практически эквивалентные результаты [1]. Следовательно, некоторое понижение активности проявителя, содержащего соду, всегда можно компенсировать увеличением времени проявления.

Существующие цветные негативные материалы имеют еще недостаточную светочувствительность по сравнению, например, с черно-белой пленкой. Поэтому весьма важно проводить проявление так, чтобы в максимальной мере потенциальную светочувствительность материала компенсировать увеличением времени проявления. Чрезмерно большое содержание бромидов в проявителе (2.5 г/л), применяемое в традиционной рецептуре, приводит к резкому понижению светочувствительности, которое частично компенсируется применением допроявления при длительном промывании непосредственно после проявления. а операция совершенно неприемлема в случаях немашинной обработки, да и при машинной обработке она связана с повышением температуры и необходимостью точного соблюдения температурного режима и постоянства состава проявочной воды. Применяя в качестве тормозителя бензотриазол, можно значительно уменьшить величину вуали и значительно меньше понизить светочувствительность.

На рис. 1 показано влияние бромистого калия и бензотриазола. Следует отметить, что в опытах, результаты которых приведены на рисунке, допроявление не применялось, а поэтому наблюдаемое понижение светочувствительности особенно велико. При учете динамики ее уменьшения было установлено, что можно допускать содержание КВг не более 0.2 г/л, но добавлять бензотриазол, количество которого должно определяться в зависимости от степени вуалированности пленки. При введении тормозителей можно за счет увеличения времени проявления поднять светочувствительность даже выше той, которая получается с 0.2 г/л бромистого калия (без бензотриазола) при проявлении до одной и той же вуали, как это показано на рис. 2. Если без бензотриазола при проявлении до $D_0=0.3$ светочувствительность получается 55 единиц, то с 3 мг/л бензотриазола она достигает 80 единиц и более, так как даже при 10 мин. проявления вуаль не поднимается выше 0.24.

Из других возможных изменений в рецептуре цветного проявления следует остановиться на введении некоторых веществ, специфически влияющих на фотографические свойства.

Добавление в проявитель небольшого количества спиртового раствора йода — от солей долей до 0.2 г/л — значительно снижает γ желтого слоя, что бывает полезно, например, при наблюдаемой разбалансировке пленки за счет верхнего слоя (рис. 3). Как видно из рис. 4, применение йода оказалось весьма эффективным при съемке на цветную пленку ЛН-3 при дневном свете [5]. Для дневного света, содержащего больше синих лучей по сравнению с лампами накаливания, чувствительность верхнего слоя оказывается высокой; она уравнивается с помощью йода.

В некоторых случаях полезно введение в проявитель азотнокислого или сернокислого таллия (до 1 г/л); как видно из таблицы, светочувствительность

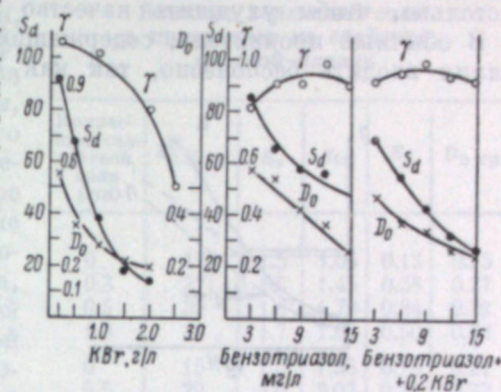


Рис. 1. Влияние бромистого калия и бензотриазола на светочувствительность, коэффициент контрастности и вуаль цветной пленки.

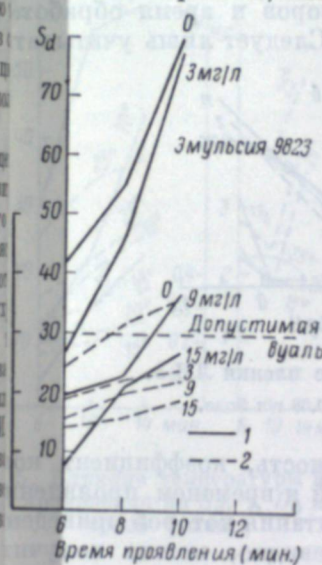


Рис. 2. Изменение S_d и γ при различных количествах бензотриазола. 1 — S_d ; 2 — D_0 .

несообразным при съемке на цветную пленку ЛН-3 при дневном свете [5]. Для дневного света, содержащего больше синих лучей по сравнению с лампами накаливания, чувствительность верхнего слоя оказывается высокой; она уравнивается с помощью йода. В некоторых случаях полезно введение в проявитель азотнокислого или сернокислого таллия (до 1 г/л); как видно из таблицы, светочувствительность

тельность (S) возрастает при 0.5 г/л в два раза, а коэффициент контрастности (γ) — в полтора раза.

При введении таллиевой соли баланс несколько ухудшается, настолько, чтобы ухудшить качество изображения.

В обычный проявитель, содержащий 2.5 г/л бромистого калия, таллия вводить бесполезно, так как осаждается бромистый таллий.

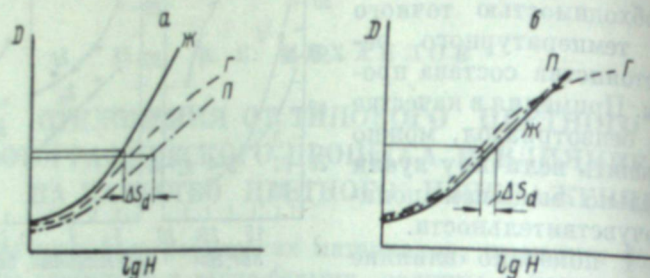


Рис. 3. Влияние йода на цветовой баланс пленки ДС-1.
а — проявление без йода; б — проявление с 0.08 г/л йода.

Гидроксиламин вводят в том случае, когда проявитель должен выдерживаться. Вместе с тем введение гидроксиламина не обязательно, если проявитель не подлежит хранению. Нет основания заранее вводить в раствор вещество, содержащее остальные компоненты, его добавляют непосредственно перед проявлением.

Как показали опыты [1], температура растворов и время обработки можно изменять в довольно широких пределах. Следует лишь учитывать

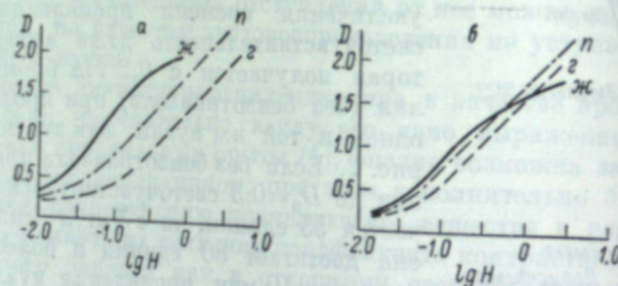


Рис. 4. Влияние йода на цветовой баланс пленки ЛН-3.
а — проявление без йода; б — проявление с 0.08 г/л йода.

что соответственно изменяется светочувствительность, коэффициент контрастности и вуаль. Связь между температурой и временем проявления показана на рис. 5. Для пленки, результаты испытания которой приведены на рисунке, оптимальную характеристику, очевидно, можно получить при температуре 25° С и времени проявления 10 мин.; при допуске вуали светочувствительность возрастает почти вдвое, а коэффициент контрастности — на 25%; разбалансировки по светочувствительности и контрастности практически нет; после 10 мин. проявления возрастает и ухудшается баланс по коэффициенту контрастности. Для других пленок оптимальное время и температура могут быть иными.

Температурный коэффициент проявления по светочувствительности уменьшается при увеличении времени проявления; так, отношение $S_d(15^\circ)/S_d(25^\circ)$ равно 8.4 для 6 мин., 3.9 для 10 мин., 2.6 для 14 мин. проявления. При повышении температуры нет необходимости в предварительном дублировании, так как расслаивание эмульсионного слоя в проявителе

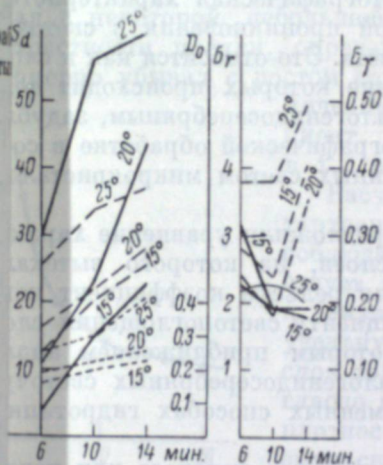
наблюдается даже при температуре 28—30° С. Если же подвергать пленку тщательному промыванию непосредственно после проявления, как это рекомендуется в обычной методике, расслаивание может появиться, видимо, за счет энергичной диффузии солей из эмульсионного слоя иода. Как подтверждено опытом, в малом количестве бромистого калия, содержащегося в рекомендуемом нами проявителе, длительное промывание для допроявления не нужно. Поэтому рекомендуется проявление сразу проводить до конца, анализируя его быстро в кислой среде, содержащей 0.5% уксусной кислоты, а чтобы предупредить расслаивание, в эту же ванну вводится сернистый натрий. В том случае, когда обработка цветной пленки

Влияние таллиевой соли в проявителе на свойства цветной пленки

Количество таллиевой соли (г/л)	$S_{0.85}$ ср	B_s	$\gamma_{ср}$	B_T	D_0 ср
0	17	1.5	1.04	0.13	0.25
0.3	27	1.5	1.45	0.38	0.27
0.5	39	1.6	1.73	0.34	0.29
1.0	46	1.7	1.66	0.50	0.33
0	15	1.3	1.38	0.18	0.21
0.5	29	2.0	2.07	0.34	0.32
0	37	1.3	1.53	0.26	0.22
0.5	77	1.3	2.08	0.38	0.25

исходит при очень высокой температуре окружающего воздуха, полезно сильно дубить пленку путем промывания ее в 1%-й раствор хромовых квасцов. Ввиду того что длительное промывание после проявления отсутствует и в слое могут оставаться следы проявляющего вещества, нужно сначала применять кислый фиксаж, а потом уже отбеливание. Можно для отбеливания применять раствор только красной кровяной соли без фосфорнокислых солей.

Описанные изменения в рецептуре и широкие допуски в отношении температуры и времени проявления свидетельствуют о достаточно большой приспособляемости процесса обработки цветных пленок к различным производственным условиям и к желаемым характеристикам. Следует отметить, что для всех многослойных негативных материалов можно применять одни и те же растворы и порядок обработки, изменяя лишь время пребывания фотографического материала в той или иной ванне. По-видимому, возможны и другие варианты процесса.



5. Влияние температуры и времени проявления на S_d , γ , D_0 и цветовой баланс.

ЛИТЕРАТУРА

- В. Я. Михайлов, М. Н. Цыганов. Цветофотографический процесс в аэрофотографии. Труды ЦНИИГАиК, вып. 107, 1955.
- Н. И. Кириллов, С. М. Антонов. Процессы цветной фотографии. Госкиноиздат, 1951.
- Agfa-Rezepte, 1957.
- ГОСТ 9160-59. Фотографические материалы на прозрачной подложке. Метод общесенситометрического испытания многослойных цветофотографических материалов.
- В. Я. Михайлов. О рациональном использовании цветной негативной пленки ЛН-3. Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 5, 1958.

С. А. БОНГАРД, М. П. ВИННИЦКАЯ

О ВЛИЯНИИ СВЕТОПОГЛОЩЕНИЯ МАТРИЧНОЙ ПЛЕНКИ НА ГРАДАЦИЮ ВЫМЫВНОГО РЕЛЬЕФА

Регулирование градации рельефных изображений-матриц, путем вымывания, в процессе химико-фотографической обработки пленки весьма затруднено. В связи с этим для достижения требуемой градации изображения особое внимание должно уделяться строению пленки (состава эмульсионного слоя) и ее экспонированию. Так как эффективная плотность окрашенного рельефного изображения, полученного путем вымывания, в первом приближении пропорциональна толщине рельефа, то в конечном счете фотографическая характеристика такого изображения определяется глубиной проникновения светового излучения в светочувствительный слой фотоактивных лучей света. Это относится как к хромированным желатином, задубливание которых происходит посредством при экспонировании, так и к галогенидосеребряным, задубливание которых протекает при химико-фотографической обработке в соответствии с распределением в слое измененных светом микрокристаллов галогенида серебра.

Харди и Перрен [1] еще в 20-х годах предложили уравнение для характеристики кривой хроможелатиновых слоев, из которого вытекает, что при постоянных условиях окрашивания рельефа коэффициент контрастности обратно пропорционален коэффициенту светопоглощения. К. С. Ляликов [2] показал, что с некоторым приближением справедливая зависимость справедлива и для галогенидосеребряных светочувствительных слоев, применяемых в современных способах гидропечати цветных изображений.

В связи с особенностями процесса гидротипного переноса при цветных фильмах рельефные матрицы должны иметь весьма ограниченную максимальную толщину (3—4 мк) и тонкую градацию. Собственное поглощение галогенида серебра при обычно принятом его содержании в эмульсионном слое слишком мало для получения требуемых характеристик рельефа, и для увеличения светопоглощения в слой матричной эмульсии вводят красители, поглощающие фотоактивное излучение. Эффективность действия фильтровых красителей зависит как от концентрации в слое, так и от соответствия их полосы светопоглощения спектра области светочувствительности эмульсии.

В настоящей работе изучалось влияние этих факторов при разном спектральном составе света, примененного для экспонирования, на градиентную характеристику рельефного изображения.

Образцы исследуемых матричных пленок изготавливались с применением высокодисперсной йодобромосеребряной эмульсии, с отношением йодидов и серебра 3 : 1. Толщина эмульсионного слоя в разных образцах варьировалась в пределах 5—9 мк. Для получения сенситограмм пленки экспонировали

сенситометре ЦС-2 с различными светофильтрами и монохроматическим светом с длиной волны 436 и 546 мкм от ртутно-кварцевой лампы ПРК-4. Рельефы получали по способу дубящего отбеливания серебряного изображения, сенситограммы окрашивали в растворе красителя Прямого розового С. Плотность окрашенного рельефа измеряли с зеленым светофильтром на денситометре ЦД-4, градуированном в оптических плотностях для монохроматического света $D_{\lambda=530}$.

Предварительно двумя различными методами была установлена подчиняемость вымывного красителя в желатиновом слое закону Бугера, по крайней мере до $D_{\lambda}=3$ (с. 1). Таким образом, результаты измерений выражались величинами, пропорциональными поверхностной концентрации красителя и в первом приближении высоте рельефа.

В первой серии опытов пленки с оптически несенсибилизированной эмульсией, выдержавшей соответственно 1, 2, 5, 10 и 20 г тартраца на 1 кг эмульсии, экспонировали монохроматическим светом с длиной волны 436 мкм, интенсивно поглощаемым фильтровым красителем. Результаты этих опытов показали, что, начиная с некоторой небольшой концентрации красителя, коэффициент контрастности пленки, определенный по рельефному изображению, закономерно убывал с ростом содержания тартраца (рис. 2). При увеличении концентрации тартраца вдвое коэффициент контрастности уменьшался примерно в 1,5 раза.

Расчет показал, что минимальное содержание тартраца (2 г на 1 кг эмульсии), при котором соблюдается установленная зависимость, соответствует такой его поверхностной концентрации в эмульсионном слое, которая обуславливает удельную оптическую плотность слоя ($D_{\lambda=436}$ для слоя толщиной 1 мк), примерно равную 0.15. Согласно нашим измерениям, удельная оптическая плотность неокрашенного слоя с применявшейся эмульсией равнялась примерно 0.1.

Таким образом, определяющее влияние фильтрового красителя на контраст рельефного изображения начинается с такой его концентрации в эмульсии, при которой обусловленное красителем светопоглощение несколько превышает собственное поглощение галогенида серебра.

Ни в одном из опытов с экспонированием пленок даже сильно поглощаемым монохроматическим светом не было отмечено строгой обратной пропорциональной зависимости между коэффициентом контрастности и концентрацией красителя, определяющей светопоглощение в эмульсионном слое. По-видимому, в случае галогеносеребряных светочувствительных слоев отклонение от этой простой зависимости объясняется, с одной стороны, неоднородностью эмульсионных микрокристаллов по светочувствительности, с другой — возможным отклонением от закона Бугера при применяемых высоких концентрациях красителя в слое.

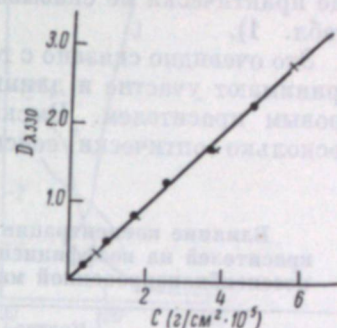


Рис. 1. Зависимость оптической плотности ($D_{\lambda=530}$) от поверхностной концентрации Прямого розового С в желатиновом слое.

2. Зависимость коэффициента контрастности матричной пленки от содержания тартраца в эмульсии при экспонировании монохроматическим светом.

Рис. 2. Зависимость коэффициента контрастности матричной пленки от содержания тартраца в эмульсии при экспонировании монохроматическим светом.

При экспонировании окрашенных желтым красителем оптически сенсibilизированных матричных пленок белым светом наблюдается понижение коэффициента контрастности с ростом содержания красителя. Это имеет место лишь в ограниченных пределах концентраций. Так, изменение концентрации тартрацина с 10 до 20 г на 1 кг эмульсии в большинстве случаев практически не сказывается на значении коэффициента контрастности (табл. 1).

Это очевидно связано с тем, что в образовании рельефного изображения принимают участие и длинноволновые лучи света, не поглощаемые основным красителем. Высказывалось предположение [2], что тартрацин несколько оптически сенсibilизирует эмульсию, и она становится

Таблица 1
Влияние концентрации фильтровых красителей на коэффициент контрастности несенсибилизированной матричной пленки

Фильтровый краситель	Количество красителя (г на 1 кг эмульсии)	Коэффициент контрастности при экспонировании		
		белым светом	синим светом	$\lambda = 436 \text{ мкм}$
Тартрацин	10	1.9	1.7	1.5
Тартрацин	20	1.7	1.2	1.1
Тартрацин	20	1.5	—	—
Оранжевый	1.25			
Тартрацин	20	1.25	—	—
Оранжевый	2.5			
Тартрацин	20	1.1	—	—
Оранжевый	5			

не учитываемому длинноволновому хвосту спектральной чувствительности эмульсии.

Собственная спектральная светочувствительность галогенной эмульсии, как показано рядом исследований [3, 4], расширяется далеко в длинноволновую область. При высокой концентрации тартрацина, сильно поглощающего синие лучи с длиной волны до 400 мкм, в образовании изображения принимают участие и лучи света с длиной волны более 490 мкм (где собственная светочувствительность галогенного серебра ниже на 2—3 порядка).

Аналогичные факты установлены и на оптически сенсibilизированных эмульсиях с другими фильтровыми красителями.

Из этого следует, что для понижения контраста матричных пленок их эмульсионные слои следует прокрашивать красителями, область спектрального поглощения которых распространяется в область длинноволнового хвоста спектральной чувствительности эмульсии.

При введении в несенсибилизированную эмульсию матричной пленки наряду с тартрацином оранжевого красителя можно изменять ее коэффициент контрастности в широких пределах, причем регулирование контраста легко достигается варьированием концентрации оранжевого красителя (табл. 1).

Соответствие между спектральными областями поглощения фильтровых красителей и эффективной светочувствительности эмульсионного слоя может достигаться и путем изменения спектрального состава света при экспонировании. Как следует из результатов, приведенных в

таблице 1, при печати с синим светофильтром коэффициент контрастности пленок увеличивается с 10 до 20 г на 1 кг эмульсии тартрацина в соответствии с установленной зависимостью.

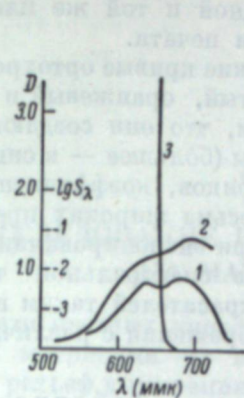


Рис. 3. Голубая зональная матричная пленка.

1 — спектральная чувствительность эмульсионного слоя; 2 — спектральное поглощение фильтрового красителя; 3 — спектральное поглощение светофильтра.

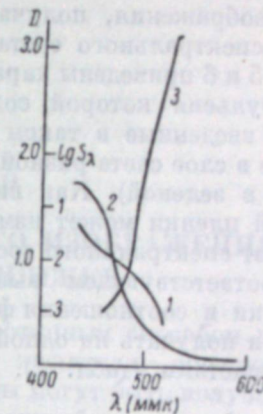


Рис. 4. Желтая зональная матричная пленка.

1 — спектральная чувствительность эмульсионного слоя; 2 — спектральное поглощение фильтрового красителя; 3 — спектральное поглощение светофильтра.

При разработке комплекта зональных матричных пленок, каждая из которых оцувствлена к соответствующей зоне спектра и предназначена для печати цветоделенной матрицы непосредственно с цветного негатива,

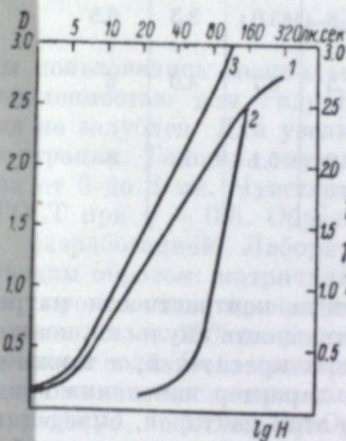


Рис. 5. Характеристические кривые ортохроматической матричной пленки при экспонировании монохроматическим светом.

1 — $\lambda = 436 \text{ мкм}$; 2 — $\lambda = 546 \text{ мкм}$; 3 — последовательно светом с $\lambda = 436 \text{ мкм}$ и $\lambda = 546 \text{ мкм}$.

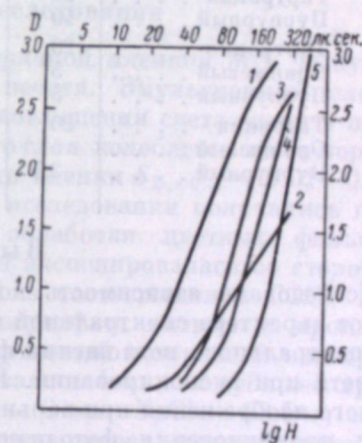


Рис. 6. Влияние спектрального состава света на характеристическую кривую ортохроматической пленки.

Свет: 1 — белый; 2 — синий; 3 — желтый; 4 — оранжевый (OG — 4); 5 — темно-оранжевый (OG — 5). Экспонирование на ЦС-2.

для достижения требуемого коэффициента контрастности использованы описанные приемы. Область эффективной спектральной чувствительности эмульсии, с одной стороны, перекрывается поглощением фильтрового красителя, с другой — ограничивается применением светофильтра при печати (рис. 3 и 4).

Рассмотренная резкая зависимость контраста рельефного изображения от величины светопоглощения фотоактивных лучей эмульсионным слоем открывает возможность при определенных условиях варьирования контраста изображения, получаемого на одной и той же пленке, изменения спектрального состава света при печати.

На рис. 5 и 6 приведены характеристические кривые ортохроматической пленки, эмульсия которой содержит желтый, оранжевый и пурпурные красители, введенные в таком соотношении, что они создают различное поглощение в слое света разной длины волны (большее — в синей области, меньшее — в зеленой). Как видно из графиков, коэффициент контрастности такой пленки может изменяться в весьма широких пределах в зависимости от спектрального состава света при экспонировании.

При соответствующем выборе области спектральной чувствительности пленки и соотношения фильтровых красителей таким путем можно практически получать на одной пленке изображения с различными заданными контрастами (табл. 2).

Таблица 2
Зависимость коэффициента контрастности ортохроматической матричной пленки от состава света при печати

Фильтровые красители	Количество красителя (г на 1 кг эмульсии)	Коэффициент контрастности при экспонировании светом				
		белым	синим	желтым	оранжевым	темно-оранжевым
Тартрацин	20	4.1	1.5	4.9	5.8	8
Оранжевый	10					
Тартрацин	20	2.4	1.8	3.0	3.3	6.5
Пурпурный	10					
Тартрацин	20	2.6	1.5	3.7	4.0	6
Оранжевый	5					
Пурпурный	5	3.9	2.0	5.1	6	8
Тартрацин	20					
Оранжевый	5					
Пурпурный	2.5					

Выводы

1. Исследована зависимость коэффициента контрастности матричной пленки от характера спектральной чувствительности эмульсии, концентрации и спектрального поглощения фильтровых красителей, а также от состава света при экспонировании. Показан характер изменения градиента рельефного изображения при варьировании этих факторов, определяющих глубину проникновения фотоактивного света в эмульсионный слой пленки.

2. Установлено, что при увеличении вдвое концентрации фильтровых красителей, интенсивно поглощающего фотоактивный свет, коэффициент контрастности галогеносеребряной матричной пленки понижается примерно в 1.5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. C. Hardy, F. H. Perrin, Journ. Franklin Inst., 205, 197, 1928.
- [2] К. С. Лялик. Советский гидротипный способ. В кн.: А. Клейн. Цифровая кинематография. Госкиноиздат, 1939.
- [3] Ю. Н. Гороховский, Труды ГОИ, 14, 112—120, 1941.
- [4] Б. Г. Варшавер, Л. Я. Крауш, К. В. Чибисов, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 2, 413, 1957.

С. С. САВКО

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА МАТРИЧНОЙ ПЛЕНКЕ

Для печати цветных кинофильмов гидротипным способом пользуются рельефными матрицами из задубленного желатина, образующего так называемый рельеф вымывания. Эти матрицы могут быть получены, в частности, по способу дубящего отбеливания черно-белого серебряного изображения [1] на специальной матричной пленке при экспонировании ее со стороны подложки. При таком способе обработки во время отбеливания металлического серебра происходит дубление прилегающего к нему желатина. Желатин, оставшийся незадубленным в тех местах, где не было серебра, отмывается в теплой воде. На подложке после этого остается рельефное изображение из задубленного желатина.

Представляется существенным знать, как связаны высоты рельефного изображения с оптическими плотностями исходного фотографического изображения на матричной пленке и как зависят они от условий получения обоих этих изображений.

1. Методика исследования

Мы пользовались специальной матричной пленкой М-1, выпускаемой промышленностью для гидротипной печати. Эмульсионный слой этой пленки не задублен. Для увеличения поглощения света слоем в него введен тартрацин. Толщина эмульсионного слоя колеблется из-за неровности полива от 6 до 8 мк. Чувствительность пленки $S_{D_{0.2}} = 0.01—0.09$ единиц ГОСТ при $\gamma = 0.8$. Образцы для исследования получались по методике, разработанной Лабораторией обработки цветных фильмов [1], следующим образом: матричная пленка экспонировалась со стороны подложки, проявлялась проявителем Н-1 в соответствии с ГОСТ 2817-50, фиксировалась в 25%-м растворе тиосульфата натрия и промывалась в проточной воде. После измерения плотностей почернений или сразу же после промывки сенситограммы отбеливались 4 мин. в дубящей хромовой ванне ($K_2Cr_2O_7$ — 10 г; H_2SO_4 конц. — 2 мл; $NaCl$ — 22.5 г; воды до 1 л), приготавливаемой непосредственно перед употреблением. Отбеленные пленки промывались сначала в холодной воде, а затем подвергались десятиминутной отмывке в воде, нагретой до $50 \pm 2^\circ C$. На подложке оставалось рельефное изображение.

При тщательном воспроизведении режима обработки сенситограмм удается получить довольно хорошо согласующиеся между собой значения величин высот рельефов h , колебания которых в интервале $2.0 \text{ мк} > h > 0.1 \text{ мк}$ составляют приблизительно $\pm 0.1 \text{ мк}$.

Измерения высот рельефа желатина производить с точностью хотя бы в несколько процентов. Поскольку максимальная толщина эмульсионного слоя матричной пленки составляла 8 мк, требуемая чувствительность метода измерения должна быть порядка 0.1 мк. Обзор методов, принципов

ально пригодных для этой цели, дан в статье В. А. Вейденбаха и Г. А. М. повича [2]. Ими же была разработана методика и техника измерений задубленных желатиновых рельефов, полученных на хромированном латине, с помощью микроинтерферометра Линника [3]. Мы воспользовались этим методом измерений применительно к нашим рельефам.

Наиболее яркая и резкая картина интерференционных полос получается в интерферометре Линника тогда, когда интенсивности интерферирующих световых пучков приблизительно одинаковы. Это будет место в том случае, когда коэффициенты отражения измеряемого объекта и зеркала интерферометра более или менее близки. Для наших рельефов больше подходит интерферометр, у которого роль зеркала исполняет стеклянная пластинка с коэффициентом отражения, более близким к коэффициенту отражения желатина и целлулоида, чем коэффициент отражения алюминиевого или серебряного зеркала.

Желатиновые рельефы, получаемые методом дубящего отбеливания отличаются от рельефов, полученных на хромированном желатине, структурой поверхности желатина. В то время как последние имеют гладкую поверхность, у первых структура поверхности зернистая. Вследствие этого при измерении высот ступеней рельефной сенситограммы на хромированном желатине получается яркая и четкая интерференционная картина. При измерениях же сенситограмм, полученных методом дубящего отбеливания, интерференционная картина оказывается размытой, а четкую и вовсе отсутствует.

В наших опытах выяснилось, что вид интерференционной картины зависит от толщины измеряемого слоя и от масштаба увеличения интерферометра. При пользовании интерферометра с объективом семикратного увеличения достаточно яркая и резкая интерференционная картина наблюдается при толщине желатинового слоя меньше 0.5 мк. По мере увеличения толщины слоя полосы размываются, их контраст понижается и в конце концов картина исчезает совершенно. При пользовании интерферометром с объективом сорокакратного увеличения на слоях толщиной меньше 0.5 мк интерференционная картина наблюдается у каждого зерна на поверхности желатинового слоя, вследствие чего измерение толщины делается невозможным. На слоях же толщиной более 0.5 мк система интерференционных полос от подложки при переходе на желатиновый слой превращается в размытую полосу, в которой иногда просматриваются участки более ясно выраженных интерференционных полос. Измерив сдвиг середины этой полосы по отношению к средней полосе интерференционной картины, получающейся от подложки, можно определить высоту слоя желатина.

Таким образом, чтобы иметь возможность измерять высоты всех ступеней рельефных сенситограмм, нужно было пользоваться двумя интерферометрами — семи- и сорокакратного увеличения, измеряя слой высотой до 0.5 мк первым, а более высокие — вторым.

Определение величины сдвига полос производилось с помощью лярного микрометра, а высота рельефа h вычислялась по формуле:

$$h = \frac{L \cdot \lambda}{2n},$$

где L — сдвиг интерференционных полос (в делениях барабана микрометра); λ — длина световой волны (для белого света эта величина принималась равной 0.56 мк); n — ширина отдельной интерференционной полосы (в делениях того же барабана микрометра).

Измерение величины сдвига полос на каждом поле производилось минимум на трех участках поля. Измерения на каждом участке проводились по четыре раза в противоположных направлениях. Каждый

при измерении какого-либо участка рельефа измеряли ширину отдельной интерференционной полосы на участке подложки, прилегающей к рельефу. Принимаемое при вычислениях значение этой величины представляло собой среднее из шести измерений, сделанных в различных направлениях.

Относительная погрешность измерений при $h > 0.5$ мк в среднем составляет 5—6% от измеряемой величины. В интервале h от 0.3 до 0.5 мк иногда можно было производить измерения обоими интерферометрами. Относительная погрешность измерений в этом случае составляет в среднем 6—7%, но относительная погрешность отдельных измерений может иногда достигать 20—25%. При измерении h от 0.3 до 0.1 мк (интерферометр с семикратным увеличением) относительная погрешность измерений в среднем составляет 15—16%. Расхождения результатов измерений высот рельефов при повторных опытах обычно находились в пределах значений относительной погрешности измерений.

Измерениям подвергались обычно сухие рельефные сенситограммы. Случаи, в которых мы пользовались результатами измерений набухших рельефов, специально оговорены в тексте. Чтобы предотвратить высыхание набухших рельефов во время измерений (около 2 час.), набухание рельефных сенситограмм производилось в 15%-х водных растворах глицерина. Избыток раствора осторожно снимался с сенситограмм фильтровальной бумагой.

Результаты измерений сухих и набухших рельефных сенситограмм выражались в форме характеристических кривых, построенных в координатах: логарифм количества освещения ($\lg H$) по оси абсцисс и высота рельефа (h) в микронах по оси ординат. При построении характеристических кривых брались средние значения высот рельефов, определенные на 2—3 одновременно обработанных сенситограммах.

2. Влияние времени экспонирования и проявления матричной пленки на высоту рельефа вымывания

Матричная пленка экспонировалась при прерывистом освещении в сенситометре ФСР-4 в течение 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 и 3.2 сек.

На рис. 1 представлены характеристические кривые серебряного изображения на матричной пленке в координатах $D = f(\lg H)$ и соответствующие им характеристические кривые рельефного изображения в координатах $h = f(\lg H)$. Из рисунка видно, что с увеличением времени экспонирования происходит смещение характеристических кривых в сторону увеличения значения $\lg H$; при этом из общего хода кривых выпадает верхняя часть кривой, соответствующей рельефной сенситограмме, экспонированной 1.6 сек.

Поля рельефной сенситограммы различаются визуально, так как они различно рассеивают свет. Рассматривая рельефные сенситограммы, можно обнаружить на них столько же полей, сколько и на серебряных. Начальные участки характеристических кривых, соответствующие малым высотам рельефов, на рис. 1 отсутствуют, так как высоты рельефа ниже 0.1 мк не могли быть измерены.

Построив кривые равных плотностей почернений и равных высот рельефа в координатах $\lg H = f(\lg t)$ при $D = \text{const}$ и $h = \text{const}$ (рис. 2) для всех времен экспонирования и для различных значений D и h , мы убедились, что для матричной пленки М-1 не соблюдается закон взаимозаместимости. Это имеет место и в том случае, если пленка экспонируется при непрерывном освещении. Ход кривых, равных h , рельефа в общем повторяет ход кривых, равных D . Это значит, что отмеченное выше смещение рельефных

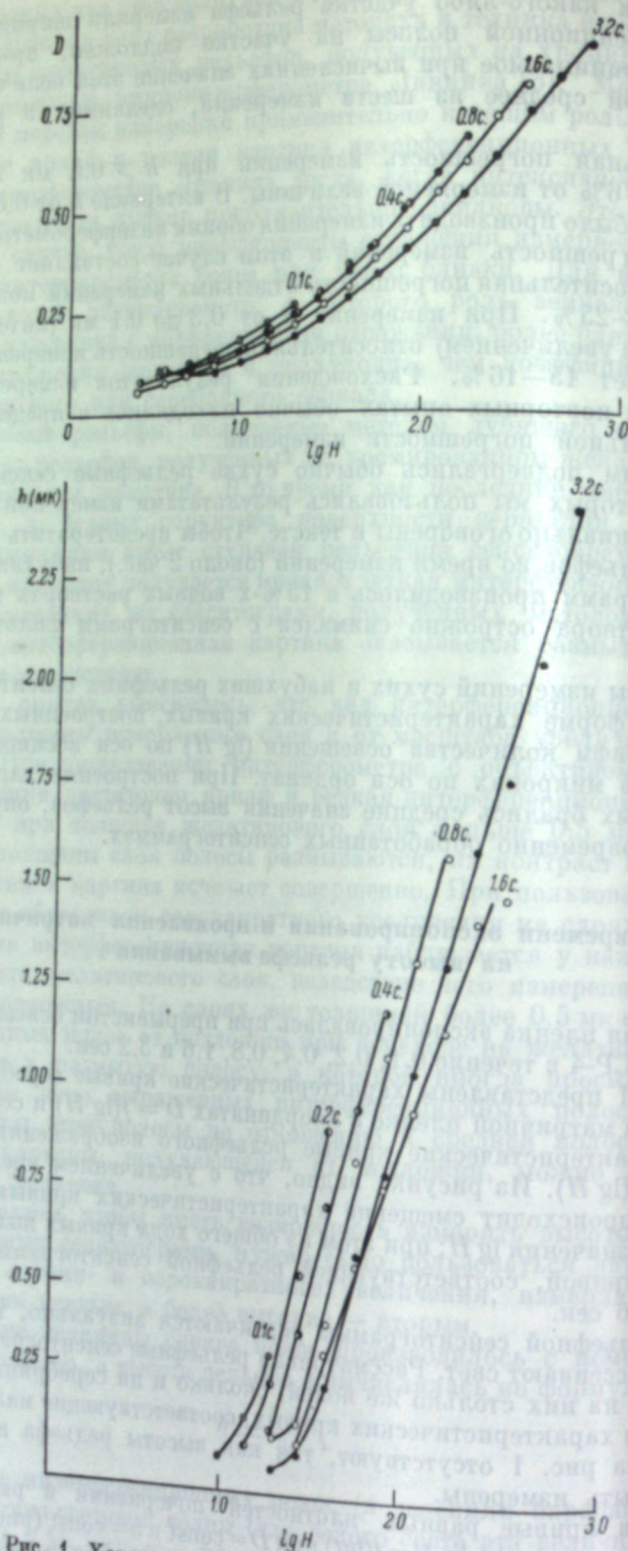


Рис. 1. Характеристические кривые серебряного изображения на матричной пленке и соответствующие им характеристические кривые рельефного изображения при разных временах экспонирования.

характеристических кривых обусловлено главным образом свойствами серебряного изображения, а не процессом получения рельефа.

Чтобы выяснить, существует ли однозначная связь h рельефа с D серебряного изображения, строились графики $h=f(D)$ для различных значений t . Эти графики, построенные для многочисленных опытов, обычно представляли собой прямые линии (рис. 3), выражаемые уравнением $h=A+BD$, и лишь очень редко кривые с постепенно возрастающим градиентом. Эта зависимость была исследована в интервале D от ~ 0.2 (соответствующей наименьшей измеряемой h рельефа) до 1.1 ($D_{\max}$ в наших опытах). Значения коэффициентов A и B для различных опытов колеб-

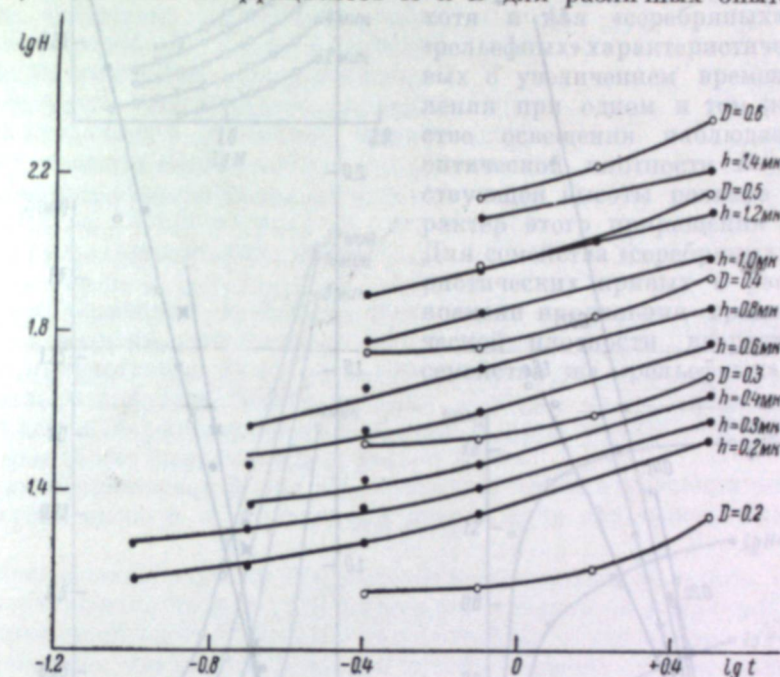


Рис. 2. Кривые равных плотностей почернений и равных высот рельефа.

лются в пределах $A = -0.4 \pm 0.2$ мк и $B = 4.0 \pm 0.8$ мк при масштабе изображения $D:h=1:1$. При различных значениях t коэффициенты A и B не вполне постоянны.

Детальный анализ показывает, что в одних опытах величина $\Delta h/\Delta D=B$ остается приблизительно постоянной для различных значений $\lg H$, в других же случаях наблюдается, хотя и небольшой, но систематический рост величины B с увеличением $\lg H$. Это означает, что с увеличением количеств освещения h растет в большей мере, чем D . Явление это может быть вызвано влиянием изменения распределения зерен проявленного серебра, образующих ту или иную оптическую плотность, по глубине слоя в зависимости от условий освещения. Примененный нами метод измерения высот рельефа не давал необходимой точности измерений для надежного исследования этих явлений. Чтобы сделать это, нужно иметь метод измерения высот, точность которого превышала бы точность измерений с помощью микроинтерферометра по меньшей мере в десять раз.

Если бы линейная зависимость между D и h сохранялась и при значениях $h < 0.1$ мк, то минимальная плотность серебряного изображения, еще могущая дать наименьшую высоту рельефа, составляла бы, как следует из рис. 3, около $D=0.2$. Однако при рассмотрении рельефной

сенситограммы в отраженном свете можно было обнаружить на ней изображение нескольких полей, последние из которых соответствуют плотности серебряного изображения $D \sim 0.08-0.05$. Это, по-видимому, означает, что при $D < 0.2$ линейность функции $h=f(D)$ нарушается. Мы предположили, что причиной этого является слишком высокая температура воды (50°C), при которой оказывается растворимым недостаточно задуб-

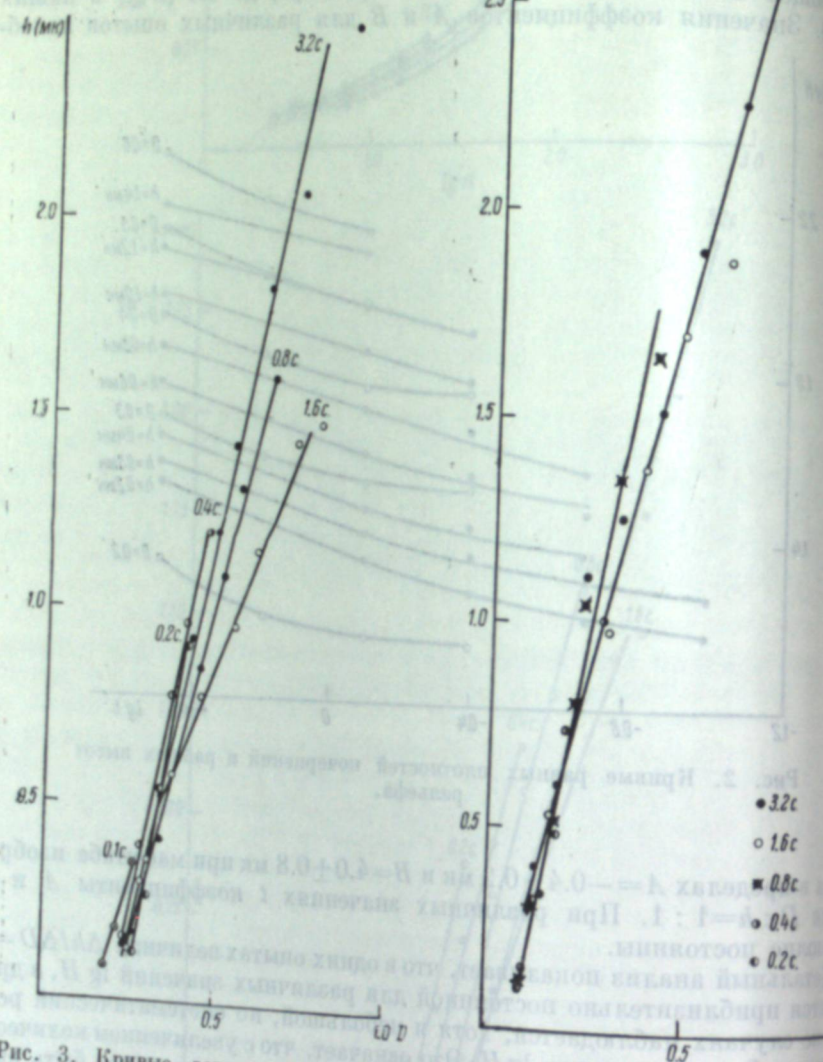


Рис. 3. Кривые зависимости высоты рельефа от оптической плотности для разных времен экспонирования матричной пленки. Отмычка рельефных сенситограмм производилась при 50°C .

Рис. 4. Кривые зависимости высоты рельефа от оптической плотности для разных времен экспонирования матричной пленки. Отмычка рельефных сенситограмм производилась при 35°C .

ленный желатин на участках сенситограммы с малыми значениями. Действительно, сохраняя все условия опыта неизменными, но отмыкая пленки в воде, нагретой лишь до 35°C , мы получили также линейную зависимость h от D , но в этом случае прямые заметно смещаются к началу координат (рис. 4). Наклон прямых, т. е. величина коэффициента B , обнаруживает отчетливую зависимость от температуры воды. Нам

становляется, что это является подтверждением того, что существенное значение имеет распределение серебра, образующего почернение, по толщине желатинового слоя эмульсии.

Чтобы выяснить, каково влияние времени проявления матричной пленки на высоту рельефа, пленки экспонировались 0.2 сек. и проявлялись от 2 до 32 мин.

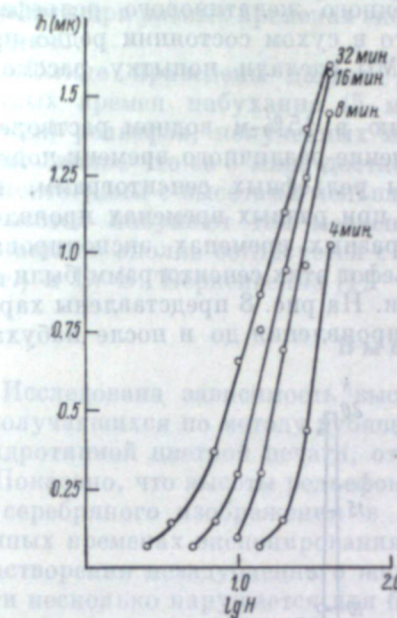
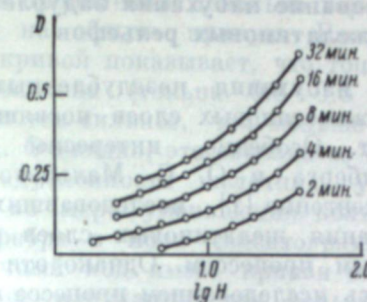


Рис. 5. Характеристические кривые серебряного изображения на матричной пленке и соответствующие им характеристические кривые рельефного изображения при разных временах проявления.

Рис. 6. Зависимость высоты рельефа от времени проявления серебряного изображения при постоянных значениях $\lg H$.

ристических кривых в исследованном диапазоне с увеличением времени проявления γ убывает. Это происходит вследствие того, что высоты рельефа, отвечающие малым количествам освещения, растут с увеличением времени проявления в большей степени, чем высоты, отвечающие большим количествам освещения.

На рис. 6 приведены зависимости высот рельефа от времени проявления для трех значений количеств освещения. Из графика видно, что максимальная высота рельефа для данного количества освещения достигается тем быстрее, чем больше было количество освещения.

Зависимость $h=f(D)$ для D от ~ 0.2 до $\sim 0.45-0.50$ остается линейной при временах проявления, менявшихся от 2 до 32 мин. Для больших

значений D (~ 0.6), достигавшихся при 16 и 32 мин. проявления, зависимость $h=f(D)$ нарушается (рис. 7). Наклон кривых $h=f(D)$ уменьшается с увеличением времени проявления.



Рис. 7. Кривые зависимости высоты рельефа от оптической плотности почернения для разных времен проявления матричной пленки.

Вопросу набухания незадубленных и задубленных желатиновых слоев посвящено много работ. Особенно интересны работы А. В. Бромберга и О. С. Мальцевой [1], исследовавших кинетику набухания желатиновых слоев в гидротипном процессе. Однако эти авторы не занимались исследованием процесса набухания задубленного желатинового рельефа, высота которого в сухом состоянии редко превышает 2 мк. Мы сделали попытку рассмотреть этот вопрос.

Набуханию в 15%-м водном растворе церина в течение различного времени подвергались группы рельефных сенситограмм, полученных как при разных временах экспонирования, так и при разных временах проявления. Высоты рельефов этих сенситограмм были предварительно измерены в сухом состоянии. На рис. 8 представлены характеристические кривые для двух времен проявления до и после набухания.

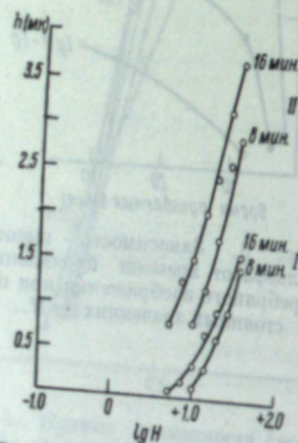


Рис. 8. Характеристические кривые рельефного изображения до (I) и после (II) набухания.

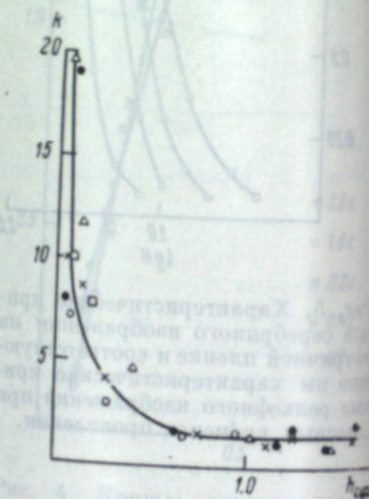


Рис. 9. Зависимость относительного набухания (k) от высоты сухого рельефа ($h_{\text{сух}}$) для разных времен проявления. Точки на кривых соответствуют различным временам проявления.

Такой же характер кривых сохраняется и для других времен проявления. Величину набухания каждой ступеньки рельефной сенситограммы характеризовали величиной отношения:

$$\frac{h_{\text{наб}} - h_{\text{сух}}}{h_{\text{сух}}} = k$$

На рис. 9 показана зависимость величины относительного набухания (k) от высоты сухого рельефа ($h_{\text{сух}}$). Точки, относящиеся к различным временам проявления, довольно хорошо ложатся на общую кривую. Рассмотрение кривой показывает, что тонкие слои желатина (тоньше 0.6—0.8 мк) набухают тем сильнее, чем меньше их толщина. Очевидно, это связано со степенью задубленности желатина, убывающей по мере уменьшения количества серебра в поле сенситограммы. Аналогичный ход имеет кривая относительного набухания для рельефов, полученных при разных временах экспонирования.

В таблице приведены данные для различных времен набухания (5 мин. и 42 часа) рельефов, полученных при разных временах проявления. Из таблицы видно, что за 5 мин. достигается максимальное набухание ступеней сенситограмм с высотами меньше, чем 0.1—0.2 мк. Ступени же с большей высотой набухают тем медленнее, чем они выше. Этот результат наших опытов вполне согласуется с результатами опытов А. Я. Смирнова (1940 г.) и Б. Б. Беркенгейма [1].

Выводы

1. Исследована зависимость высоты желатиновых рельефов вымывания, получавшихся по методу дубящего отбеливания на матричной пленке для гидротипной цветной печати, от условий их образования.
2. Показано, что высоты рельефов линейно зависят от оптической плотности серебряного изображения в интервале от $D=0.2$ до $D=1.1$ при различных временах экспонирования пленки и при различных температурах растворения незадубленного желатина (50 и 35°С). Линейность зависимости несколько нарушается для больших значений D и h при больших временах проявления (16 и 32 мин.).
3. Показано, что на рельефных изображениях отчетливо обнаруживается явление невзаимозаменяемости и что оно обусловлено свойствами светочувствительной эмульсии матричной пленки.
4. Исследовано набухание сухого желатинового рельефа и показано, что величина относительного набухания растет с уменьшением толщины желатинового слоя и не зависит от условий получения рельефа.

Считаю своим приятным долгом выразить искреннюю признательность проф. Г. П. Фаерману за неизменный интерес к работе и ценные указания, полученные при ее написании.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Б. Беркенгейм. Исследование в области дубления тонких желатиновых слоев в гидротипном процессе. Канд. дисс., ЛИКИ, 1955.
- [2] В. А. Вейденбах, Е. А. Карпович, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 3, 351, 1958.
- [3] В. П. Линник, Докл. АН СССР, 1, 18, 1933.
- [4] А. В. Бромберг, О. С. Мальцева, Журн. прикл. химии, 20, 422, 1947.

П. Б. БЛЮМБЕРГ, И. М. ДАВЫДКИН

К ВОПРОСУ О ДИФфуЗИИ КРАСИТЕЛЕЙ В ГЕЛИ ЖЕЛАТИНЫ

В течение ряда лет в Ленинградском институте киноинженеров работы по изучению закономерностей проникновения компонентов жидких растворов в обрабатываемый фотографический слой.

Использование для этой цели рефрактометрического метода привело к результатам, изложенным в [1]. В частности, было показано, что значения коэффициентов диффузии различных компонентов растворов убывают со временем опыта, достигая постоянной величины.

Такая картина, как известно, наблюдается во многих экспериментальных работах по диффузии. Обычно это объясняют ошибками опыта, искажающими значения коэффициента диффузии. Эти ошибки не могли возникнуть в условиях, существовавших в [1] при диффузии солей из раствора в гель.

Закономерное уменьшение коэффициента диффузии с увеличением времени опыта было приписано несоблюдению условия $\frac{x^2}{t} = \text{const.}$

Настоящая работа была поставлена для проверки этого положения другим методом и на других веществах.

В качестве диффундирующего вещества мы использовали гидрохлорид красителя, так как диффузию красителей можно наблюдать непосредственно. Для количественных измерений был выбран микрофотографический метод, обладающий рядом преимуществ.

Этот эксперимент имеет и самостоятельное прикладное значение в фотографии.

Развитие и усовершенствование гидротипного процесса для получения цветных изображений наряду с другими проблемами требует изучения закономерностей, имеющих место при получении окрашенной матрицы и переносе окрашенного рельефного изображения на фотопленку. Для изучения этих вопросов требуется подробно исследовать механизм проникновения красителя в гель желатина и особенно в тонкий латинный слой, находящийся на подложке.

По вопросу о проникновении красителей в гели желатина имеется довольно большое количество работ, где рассматриваются различные стороны изучаемого явления. При этом во всех случаях оно считалось диффузионным и результаты обрабатывались авторами, исходя из диффузионных соотношений, в основе которых лежит закон Фика.

Рассматривая результаты, приводимые в литературе, можно отметить, что при использовании различных методов исследования и различных способов обработки экспериментальных данных (в смысле использования различных типов решений основного дифференциального уравнения диффузии), находящиеся значения коэффициента диффузии — являются переменными, зависящими от времени. Так, с увеличением времени опыта коэффициент диффузии, как правило, уменьшается, причем для достаточно больших значений времени к некоторой по-

стоянной для данной системы величине. При этом авторы либо считают эту последнюю величину истинным коэффициентом диффузии, либо произвольно усредняют полученные значения, отбрасывая чаще всего значения коэффициента диффузии, соответствующие малым временам опыта, предполагая, что именно здесь вероятность возникновения ошибок наибольшая.

Следовательно, из литературных экспериментальных данных следует, что величина коэффициента диффузии красителя из водного раствора в гель желатина оказывается переменной; обращение же к основным законам диффузии и посылкам, определяющим условия получения основного дифференциального уравнения диффузии, показывает, что теория требует постоянства значения коэффициента диффузии.

Экспериментальные данные, полученные различными авторами, обрабатывались и интерпретировались, как правило, посредством использования одного из решений основного дифференциального уравнения однонаправленной диффузии:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

При этом в случае, когда концентрация раствора над гелем все время опыта поддерживается постоянной, а толщина слоя геля такова, что за время опыта фронт вещества не доходит до конца слоя геля, то решение уравнения (1), дающее зависимость концентрации в любом месте слоя от времени, имеет вид:

$$c = c_0 \{1 - \Phi(z)\}, \quad (2)$$

где c_0 — исходная концентрация красителя в растворе; $z = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$; x — расстояние от границы „раствор—гель“, пройденное фронтом вещества;

D — коэффициент диффузии; $\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} e^{-\xi^2} d\xi$ — функция Крампса.

В этом случае, по существу, решается задача о диффузии в полубограниченную среду.

Граничными условиями, в которых получено решение (2), будут

$$\left. \begin{aligned} c &= c_0 \quad \text{для } x < 0 \quad \text{при всех } t, \\ c &= 0 \quad \text{для } x > 0 \quad \text{при } t = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

($x = 0$ — граница „раствор—гель“).

На рис. 1 схематично показано распределение концентраций в зависимости от расстояния и времени, соответствующее решению (2).

В случае, если при тех же условиях на границе «раствор—гель» слой геля находится на подложке (задача о диффузии в ограниченную среду), то решение уравнения (1) имеет вид:

$$c = c_0 \left\{ 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} e^{-\left(\frac{2n+1}{2l}\right)^2 \pi^2 Dt} \sin \frac{2n+1}{2l} \pi x \right\} \quad (4)$$

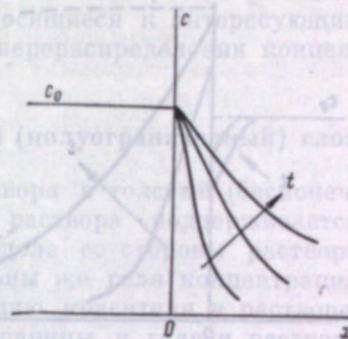


Рис. 1.

Решение (4) получается при условиях

$$\left. \begin{aligned} c &= c_0 \text{ для } x < 0 \text{ при всех } t, \\ \frac{\partial c}{\partial x} &= 0 \text{ при всех } t \text{ и } x = l, \\ c &= 0 \text{ для } 0 \leq x \leq l \text{ при } t = 0, \end{aligned} \right\}$$

где l — толщина слоя; условие $\frac{\partial c}{\partial x} = 0$ при $x = l$ и любом t вытекает из отсутствия диффузионного потока через границу (подложку) $x = l$.

Используя решения (2) или (4) для соответствующих случаев, вычисляют значения параметров процесса. Полученные значения коэффициента диффузии

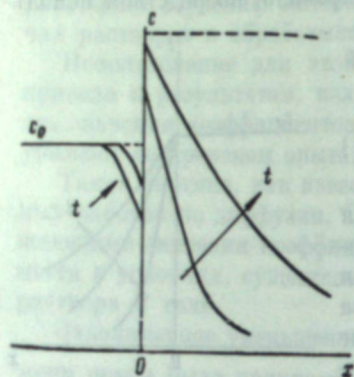


Рис. 2.

результаты, о которых говорилось в п. 1, т. е. значения коэффициента диффузии, оказываются переменными.

Таким образом, результаты эксперимента оказываются противоречащими требованиям теории. Действительно, при вычислении коэффициента диффузии по формуле (2) используется решение дифференциального уравнения, в котором коэффициент диффузии должен быть постоянным — результаты же вычислений дают переменное значение коэффициента диффузии.

Усредняя получаемые значения коэффициента диффузии или произвольно беря одно из них, авторы тем самым полагают, что используемые решения

дифференциального уравнения имеют в этих случаях приближенный характер, а законы диффузии, дающие это уравнение, — ограниченную применимость.

Наши опыты по диффузии гидротипного красителя бриллиант желтого в толстые слои гелей желатина различных концентраций¹ дали недостаточность условий (3).

Так, в частности, оказалось, что концентрация в геле у границы раздела «раствор—гель» не остается постоянной, а увеличивается с увеличением продолжительности опыта и достигает значений, гораздо больших, чем теоретическое положение. Этот результат, как известно, противоречит теоретическому положению, согласно которому для аналогичного случая и требующему постоянного значения концентрации во времени [рис. 1 и решение (2)]; в то же время, в растворе вблизи границы (в пограничном слое) образуется пограничный слой, в котором концентрация зависит от времени и расстояния от границы, представленная на рис. 2, где прерывистые линии относятся к установившемуся состоянию.

Изучение диффузии красителя в тонкие слои, где, как правило, концентрация быстро достигается установившееся состояние, позволяет констатировать факт повышенной концентрации в слое по сравнению с исходной концентрацией в растворе. Этот экспериментальный факт для случая диффузии в тонких слоях широко известен и отмечался в работах [2—5], однако в этих же работах использовались решения (2)

(4), которые не учитывают особенностей распределения концентраций на границе раздела «раствор—гель» и наличия повышенной концентрации в геле, следовательно, не отвечающие изучаемому явлению.

Действительно, из выражений (2) и (4) видно, например, что ни при каких значениях времени значения концентрации в слое не может превосходить значения исходной концентрации в растворе, а между тем эти решения используются именно для случаев, к которым они не применимы.

Анализ полученных нами результатов и сопоставление их с имеющимися в литературе, обнаруженное несоответствие между результатами опыта и используемыми аналитическими выражениями привели нас к необходимости пересмотра описанных в литературе решений диффузионных задач с тем, чтобы выбрать решения, действительно отвечающие нашим конкретным случаям.

Для этой цели понадобилось заново сформулировать постановку каждой интересующей нас задачи и получить для нее соответствующее решение.

Далее рассматриваются две задачи, относящиеся к интересующим нас случаям, где учитываются особенности перераспределения концентраций на границе «раствор—гель».

1. Задача о диффузии в бесконечно толстый (полуграниченный) слой

При диффузии красителя из водного раствора в толстый (бесконечный) слой геля концентрация в объеме раствора поддерживается постоянной во времени: у поверхности раздела со стороны раствора возникает градиент концентрации, со стороны же геля концентрация красителя превосходит исходную концентрацию красителя в растворе.

Обозначим отношение концентраций у границы в геле и растворе через k :

$$k = \frac{c}{c'} \text{ при } x = 0. \quad (6)$$

Тогда, очевидно, что при $t = 0$ $k = 0$, а при $t = \infty$ $c' = c_0$ и $c = c_\infty = c_p$ — равновесная концентрация красителя в геле и

$$k = \frac{c_p}{c_0}. \quad (6')$$

В этом случае величина k совпадает со значением коэффициента распределения между водой и гелем желатина.

Условие равенства диффузионных потоков на границе ($x = 0$) в соответствии с рис. 2 может быть записано в виде

$$\beta(c_0 - c') = -D \frac{\partial c}{\partial x} \text{ при } x = 0,$$

где $\beta = \frac{\Delta q}{\Delta c}$ — константа скорости диффузии по Франк-Каменецкому [6].

Краевыми условиями нашей задачи, которым должно удовлетворять решение уравнения (1), будут условия (7)

$$\left. \begin{aligned} \beta(c_0 - c') &= -D \frac{\partial c}{\partial x} \text{ при } x = 0 \text{ и } t > 0, \\ c &= c' = c_0 \text{ при } x < 0 \text{ и } t = 0, \\ c &= 0 \text{ при } x > 0 \text{ и } t = 0, \\ c &\rightarrow kc_0 \text{ при } x \geq 0 \text{ и } t \rightarrow \infty. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

¹ Рассматриваемый нами случай отличается от случаев, описываемых решениями (2) и (4), тем, что указанные решения получены при $k = 1$; в нашей же задаче $k > 1$.

¹ Подробное рассмотрение, анализ и обработка полученных нами экспериментальных данных будут являться предметом отдельной публикации.

В известной нам теоретической литературе не приводится решения для аналогичного случая, однако в ряде работ, например посвященных вопросам теплопередачи, дано решение для задачи переноса тепла в полуограниченном стержне при наличии теплообмена на конце ($x=0$), которое после несложных преобразований может быть применено к нашему случаю.

Полученное таким образом решение имеет вид:

$$c(x, t) = kc_0 \left\{ 1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) - e^{hx + h^2 Dt} \left[1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} + h\sqrt{Dt} \right) \right] \right\},$$

где величина $h = \frac{\beta}{Dk}$ может быть названа коэффициентом массовой передачи.

Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что решение (8) удовлетворяет уравнению (1) и условиям (7), т. е. действительно является искомым решением.

Положив в выражении (8) $x=0$, получим закономерность изменения концентрации на границе во времени:

$$c(0, t) = kc_0 \{ 1 - e^{h^2 Dt} [1 - \Phi(h\sqrt{Dt})] \},$$

которое, так же как и (8), при $t \rightarrow \infty$ дает (6'):

$$c(0, \infty) = c_p = kc_0.$$

Для непосредственного использования при обработке экспериментальных данных из (8) и (9) могут быть получены достаточно удобные для практического применения приближенные соотношения, справедливые в определенных условиях.

Так, например, для малых значений времени изменения значений концентрации на границе удовлетворяет соотношению

$$c(0, t) = \frac{2\beta c_0}{\sqrt{\pi D}} \sqrt{t},$$

из которого следует, что концентрация на границе в случае малых времен диффузии пропорциональна корню квадратному из времени.

Для больших времен диффузии изменение значений концентрации на границе удовлетворяет соотношению

$$\frac{c(0, t)}{kc_0} = 1 - \frac{k}{\beta} \sqrt{\frac{D}{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}}.$$

Отсюда следует, что для больших времен диффузии концентрация на границе изменяется линейно в зависимости от $\frac{1}{\sqrt{t}}$.

Пользуясь соотношениями (10) и (14) и используя экспериментальные результаты, легко получить интересные экспериментальные зависимости β и D . Очевидно, что, помимо соотношений (9)–(11), из основного решения (8) могут быть получены различного рода дополнительные зависимости, которые в сочетании с соответствующими экспериментальными данными в состоянии достаточно полно описать основные закономерности имеющие место при диффузии красителя в полуограниченный слой.

2. Задача о диффузии в слой конечной толщины (ограниченный слой) находящийся на подложке

Только что рассмотренная задача о диффузии в полуограниченный слой практически (при соблюдении некоторых ограничений) может быть использована для слоев любой толщины.

Так, при применении выведенных соотношений к слоям конечной толщины необходимым условием является использование таких времен диффузии, в течение которых фронт продиффундировавшего вещества еще не достиг другой границы слоя.

Эти ограничения, хотя и позволяют пользоваться полученными соотношениями, как это обычно делается в аналогичных случаях ($k=1$), решением (2), придают задаче в известной мере неопределенный, с точки зрения практики, характер. Между тем на практике всегда имеют дело со слоями конечной (и даже малой) толщины (слой на подложке), а потому естественно потребность иметь решение задачи именно для этого практически используемого случая.

Решение (4) при условиях (3) и $k=1$ отвечает как раз такой задаче. Случай $k \neq 1$ для тонкого слоя на подложке, насколько нам известно, не рассматривался.

Для нашей же цели необходимо получить решение этой задачи именно при $k \neq 1$.

Далее приводится полученное нами решение этой задачи.

Рассмотрим случай, когда диффузия красителя протекает из водного раствора в тонкий (ограниченный) слой, находящийся на подложке. В объеме раствора концентрация красителя поддерживается все время постоянной; у поверхности раздела со стороны раствора образуется градиент концентрации, со стороны геля концентрация красителя превосходит исходную концентрацию красителя в растворе.

Условия для слоя $[0, l]$, в которых должно быть решено уравнение (1), формулируются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \beta(c_0 - c') &= -D \frac{\partial c}{\partial x} \text{ при } x=0 \text{ и } t>0, \\ \frac{\partial c}{\partial x} &= 0 \text{ при } x=l \text{ (подложка) и } t \geq 0, \\ c &= c' = c_0 \text{ при } x < 0 \text{ и } t=0, \\ c &= 0 \text{ при } 0 \leq x \leq l \text{ и } t=0, \\ c &\rightarrow kc_0 = c_\infty \text{ при } 0 \leq x \leq l \text{ и } t \rightarrow \infty. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решая эту задачу по методу Фурье так, как это принято при решении задач математической физики [10], получим аналитическое выражение, являющееся решением уравнения (1) при условиях (12).

Это выражение имеет вид:

$$c(x, t) = kc_0 \left\{ 1 - 2 \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\lambda_n^2 Dt} \frac{\cos \lambda_n (l-x)}{\cos \lambda_n l} \cdot \frac{h}{l(h^2 + \lambda_n^2) + h} \right\}, \quad (13)$$

где $h = \frac{\beta}{Dk}$ — коэффициент массопередачи, а λ_n — корень уравнения $\operatorname{tg} \lambda_n l = \frac{h}{\lambda_n}$.

Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что выражение (13) удовлетворяет уравнению (1) и условиям (12), т. е. действительно является искомым решением задачи.

Для определения количества вещества, проникающего через единицу площади граничной поверхности слоя ($x=0$), т. е. величины поверхностной концентрации, следует вычислить величину

$$Q = - \int_0^t \left(D \frac{\partial c}{\partial x} \right)_{x=0} dt.$$

В случае, если время τ таково, что фронт продиффундированного вещества дойдет до подложки, то количество вещества, находящееся в слое, может быть также определено по формуле

$$Q = \int_0^l c(x, t) dx,$$

дающей то же значение поверхностной концентрации, что и предыдущая.

После вычисления получаем

$$Q = kc_0 \left\{ l - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{h^2}{\lambda_n^2 [\lambda_n^2 + h^2] + h} e^{-\lambda_n^2 D t} \right\}.$$

Выражения (13) и (14) могут служить основой для детального исследования изучаемого явления, с их помощью можно с достаточной подробностью описать основные закономерности процесса и определить его основные параметры.

Для практического использования выражений (13) и (14) при обработке экспериментальных результатов можно получить ряд приближенных соотношений, которые позволяют легко определять интересующие экспериментатора величины.

Приведем некоторые приближенные соотношения, полученные из выражений (13) и (14), достаточно удобные для непосредственного применения.

При больших временах диффузии t экспоненциальные множители вида $e^{-\lambda_n^2 D t}$ становятся достаточно малыми; кроме того, они продолжают убывать с увеличением номера n ряда, так как λ_n увеличивается. Поэтому в выражениях (13) и (14) для больших значений t можно удерживать только первые члены ряда.

Ограничиваясь первым членом разложения, получим

$$c(x, t) = kc_0 \left\{ 1 - 2 \frac{\cos \lambda_1 (l-x)}{\cos \lambda_1 l} \cdot \frac{h}{l[h^2 + \lambda_1^2] + h} e^{-\lambda_1^2 D t} \right\}$$

$$Q = kc_0 \left\{ l - 2 \frac{h^2}{\lambda_1^2 [l(\lambda_1^2 + h^2) + h]} e^{-\lambda_1^2 D t} \right\}.$$

Значения λ_n находят из уравнения $\operatorname{tg} \lambda_n l = \frac{h}{\lambda_n}$, способы решения которого известны и достаточно подробно описаны в литературе [1]. Решая это уравнение, находим

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{h}{l}}.$$

Тогда выражения (13') и (14') примут вид:

$$c(x, t) = kc_0 \left\{ 1 - 2 \frac{\cos \sqrt{\frac{h}{l}} (l-x)}{\cos \sqrt{hl} \cdot (hl+2)} e^{-\frac{h}{l} D t} \right\}$$

$$Q = kc_0 l \left\{ 1 - \frac{2}{hl+2} e^{-\frac{h}{l} D t} \right\}. \quad (14'')$$

Последние выражения достаточно удобны для практического применения. Так, например, находя значения Q или c для моментов времени t_1, t_2, t_3 (значения t должны быть достаточно большими), чтобы

$$t_3 - t_2 = t_2 - t_1 = \tau,$$

после несложных преобразований получим

$$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_2} = e^{\frac{h}{l} D \tau}.$$

Логарифмируя это выражение, находим

$$\frac{h}{l} D \tau = \ln \frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_2}.$$

Так как $h = \frac{\beta}{Dk}$, то окончательно будем иметь

$$\beta = \frac{lk}{\tau} \ln \frac{Q_2 - Q_1}{Q_3 - Q_2}. \quad (15)$$

В последнем выражении величина β определяется посредством величин, находимых из опыта.

Аналогичным образом могут быть определены и значения коэффициента диффузии D . Приведем пример такого определения.

При установившемся состоянии ($t = \infty$) из (14'') получаем

$$Q_p = kc_0 l$$

$$\frac{Q_p - Q}{Q_p - Q} = \frac{hl+2}{2} e^{\frac{h}{l} D t}$$

$$\ln \frac{Q_p - Q}{Q_p - Q} = \frac{h}{l} D t + \ln \frac{hl+2}{2}.$$

Вводя для краткости обозначения

$$\ln \frac{Q_p - Q}{Q_p - Q} = u \quad \text{и} \quad \ln \frac{hl+2}{2} = a,$$

получим

$$u = \frac{\beta}{kl} t + a$$

или

$$u = mt + a, \quad (16)$$

где $m = \frac{\beta}{kl}$ — угловой коэффициент прямой $u(t)$; a — отрезок ординаты, отсекаемый этой прямой.

По графику функции $u(t)$ находят $m = \frac{\beta}{kl}$ и $a = \ln \frac{hl+2}{2} = \ln \frac{ml^2 + 2D}{2D}$.

Тогда значения β и D могут быть найдены из выражений:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= mkl, \\ D &= \frac{\beta l}{2k(e^{\beta} - 1)}. \end{aligned} \right\}$$

Предварительное использование описанного аппарата для опытов показывает, что противоречия между теорией диффузии и результатами опыта, о которых речь шла выше, на самом деле являются следствием из-за использования решений дифференциального уравнения диффузии, не соответствующих данной конкретной задаче. В частности можно считать, что недоумения, возникшие в [1], обусловлены этими обстоятельствами, так как и для обработки экспериментальных данных использовалось решение, данное Винером [13], граничные условия которого не отвечают решавшейся задаче. Для окончательного выяснения этого мы предполагаем в дальнейшем повторить измерения диффузии тех же веществ методом Бинера с соответствующей коррекцией.

Полученные нами значения коэффициента диффузии для изучаемых случаев при различных временах диффузии оказались в достаточной степени постоянными, т. е. не зависящими от времени.

Выводы

1. Рассмотрены и проанализированы результаты экспериментальных работ по изучению диффузии красителей в гели желатина. Обнаружено противоречие между результатами эксперимента и требованиями теории, заключающееся в том, что теория требует постоянства коэффициента диффузии, а результаты обработки экспериментальных данных дают переменные его значения.

2. Выяснена недопустимость использования применявшихся ранее основного дифференциального уравнения диффузии для изучения случаев, как не отвечающих рассматриваемой задаче.

3. Приведены решения двух задач, пригодные для изучения диффузии красителя в толстый (полуограниченный) слой и тонкий (ограниченный) слой геля на подложке.

4. Даны некоторые приближенные соотношения, полученных выражений, пригодные для непосредственного практического использования при обработке экспериментальных данных.

Авторы выражают благодарность О. М. Тодесу за проявленный интерес к работе и постоянную помощь.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. Б. Блумберг, Т. А. Новацкая, Н. А. Обольянинова. Лики, вып. 5, 200, 1959.
- [2] А. В. Бромберг, Коллоидный журнал, 9, 211, 1949.
- [3] А. В. Бромберг, О. С. Мальцева, Журн. прикл. химии, 20, 539, 1954.
- [4] E. E. Jelley, R. B. Pontius, Journ. Photogr. Sci., № 1, 1954.
- [5] R. B. Pontius, J. R. Wenrich, Photogr. Sci. and Engin., 2, № 1, 1954.
- [6] Д. А. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. 1947.
- [7] В. И. Смирнов. Курс высшей математики, т. II. Гостехиздат, 1956.
- [8] Х. С. Карслоу. Теория теплопередачи. 1947.
- [9] Ф. Франк, Р. Мизес. Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики. 1937.
- [10] А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. Уравнения математической физики. Изд. АН СССР, 1933.
- [11] А. Н. Крылов. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики. Изд. АН СССР, 1933.
- [12] Е. Янке, Ф. Эмде. Таблицы функций. 1948.
- [13] O. Wiener, Ann. der Physik, 49, 105, 1893.

Н. С. СПАСОКУКОЦКИЙ, С. Е. ТИХАНОВИЧ

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ КРАШЕНИЯ ЖЕЛАТИНОВЫХ СЛОЕВ

(Первое сообщение)

Влияние хлористого натрия на окрашивающую способность растворов красителя Прямой розовый светопрозрачный С

При исследовании процессов крашения матричных рельефов, применяемых в гидротипном способе изготовления цветных фильмов [1], нами было установлено, что добавлением нейтральных электролитов в красящие ванны можно значительно увеличить их окрашивающую способность [2].

Поскольку матричный рельеф представляет собой слой задубленного желатина и крашение происходит в кислой среде ($pH=3.0-3.5$), подобное влияние добавления электролитов несколько противоречит представлениям, развиваемым в литературе по крашению текстильных белковых материалов кислотными красителями [3, 4], согласно которым прибавление в окрашивающие ванны нейтральных электролитов ухудшает их окрашивающую способность.

Известно, что кислотные красители в водных растворах заметно агрегированы, причем отдельные агрегаты имеют в своем составе различное число (до 24) молекул [5-7]. В связи с этим некоторые исследователи, работавшие преимущественно с кислыми окрашивающими растворами, делают вывод о решающем влиянии на процесс крашения степени агрегации красителей, считая, что уменьшение окрашивающей способности сильно кислых растворов при прибавлении электролитов является следствием увеличения размеров частиц.

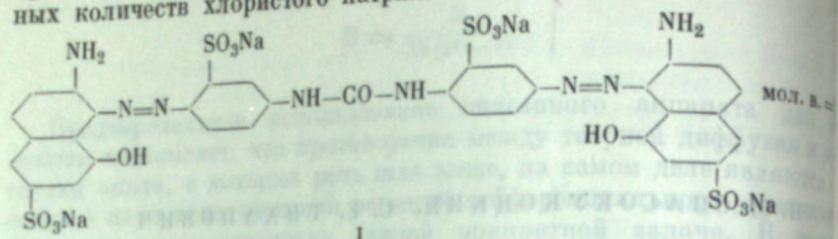
Однако в некоторых работах [8-10] указывается, что добавление электролитов уменьшает окрашивающую способность кислотных красителей по отношению к шерсти и шелку лишь в кислых растворах, тогда как в нейтральных, наоборот, повышает ее.

Предполагается, что pH раствора, при котором происходит переход от уменьшения окрашивающей способности при добавлении электролитов к увеличению ее, определяется изoeлектрической точкой волокна [10, стр. 442-443].

Для изучения механизма действия электролитов при крашении желатиновых слоев было решено исследовать состояние красителей, применяемых в гидротипном методе, в растворах с различным содержанием электролитов, а также влияние последних на окрашивающую способность растворов в зависимости от pH .

Для этого было проведено параллельное исследование окрашивающей способности растворов, их спектров поглощения и электропроводности. Последние характеристики были выбраны как наиболее простые способы оценки относительного изменения состояния красителей в растворах.

В настоящем сообщении приведены данные по исследованию поведения красителя Прямого розового светопрочного С (I) в присутствии различных количеств хлористого натрия.



Выбор красителя обусловлен тем, что его поведение в желатиновых слоях уже исследовалось ранее [11, 12], что дает возможность сопоставления некоторых данных.

Для измерения окрашивающей способности был выбран колориметрический метод определения количества красителя в слое, причем применялся метод окрашивания рельефного сенситометрического клина (так называемого матричного клина), полученного на сенситометре «2Б», с последующей обработкой, применяемой для получения рельефных клиньев с помощью дубящей отбеливающей смеси.

Таблица 1

pH раствора	γ клиньев, окрашенных в растворах	
	без NaCl	с 0.3 г-экв/л NaCl
1.4	1.45	1.40
2	1.55	1.50
3	1.45	1.55
3.5	1.30	1.60

Это позволило одновременно получить клинья с различной толщиной и дало возможность всегда выбирать участок клина, подходящий для колориметрических измерений. Кроме того, при применении матричного клина об окрашивающей способности растворов можно судить не только по изменению плотности окраски (D) того или иного поля, но и по изменению коэффициента контрастности (γ) окрашенных клиньев, полученных в одинаковых условиях фотографической обработки. Применение последнего способа имеет то преимущество, что позволяет элиминировать возможное непостоянство условий печати клина. Крашение производили при постоянной концентрации красителя, равной 0.0025 моль/л.¹ Продолжительность крашения 3 мин. при 20°. Для опытов употреблялся образец красителя, осажденный из водного раствора хлористым натрием и перекристаллизированный из воды. Содержание красителя, определенное ванадометрически, 86%, NaCl — 4%, воды — 10%. Для приготовления окрашивающих растворов к 25 мл стандартного 0.005 M раствора красителя с требуемым количеством хлористого натрия в виде 12% раствора, а затем подкисленная дистиллированная вода с pH=3.0. Полученный таким образом раствор имел pH=3.0. Хлористый натрий добавлялся из расчета получения 0.1, 0.2, 0.3 M-растворов его в окрашивающей ванне. После крашения матричные клинья споласкивались в подкисленной воде с pH=3.0 и сушились. Результаты опытов представлены на рис. 1 (монокроматические плотности окраски).

Как видно из рисунка, с повышением содержания хлористого натрия в растворе (и D и γ) вначале несколько повышается, а затем резко падает. Специально поставленные опыты продолжительного крашения (10 мин.) не дали прироста плотности окраски.

¹ Эта концентрация была выбрана для обеспечения постоянства ванны. Специальными опытами было установлено, что увеличение содержания красителя более 0.001 моль/л (~0.1%) уже не сказывается на окрашивающей способности.

говорит об отсутствии связи этого явления с кинетическими факторами. Зависимость действия электролитов от pH окрашивающих ванн исследована на примере растворов, содержащих 0.3 г-экв. хлористого натрия. Эта концентрация, как видно из рис. 1, является наиболее эффективной.

На рис. 2 представлены плотности окраски нескольких полей клина, окрашенных при различном pH в растворах с электролитом и без него, а в табл. 1 — коэффициент контрастности γ этих клиньев.

Как видно из приведенных данных, окрашивающая способность бессолевых растворов увеличивается при повышении кислотности, достигая максимального значения при pH~2.0, после чего заметно падает.



Рис. 1. Изменение плотности окраски матричных клиньев в зависимости от содержания хлористого натрия в окрашивающих растворах (pH=3.5).

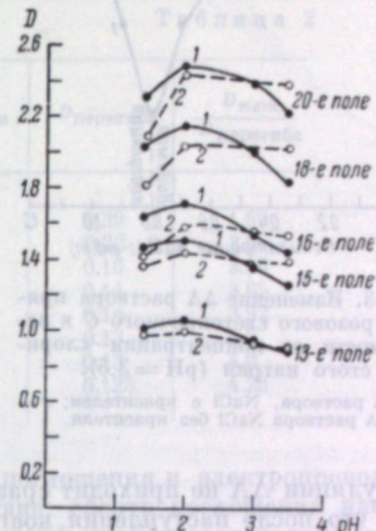


Рис. 2. Изменение окрашивающей способности растворов в зависимости от pH и содержания в них хлористого натрия. 1 — без NaCl; 2 — 0.3 н. NaCl.

В присутствии хлористого натрия этот подъем менее резок, причем до pH=2.0 изменение кислотности растворов сравнительно мало сказывается на их окрашивающей способности.

До pH=2.8 присутствие электролитов в растворе увеличивает его окрашивающую способность, при pH < 2.8 — понижает.

Таким образом, полученные результаты подтверждают данные цитированных выше работ и дают возможность предположить, что механизм действия электролитов при крашении шерсти и хромированных желатиновых слоев аналогичен, причем pH изоэлектрической точки последних равно примерно 2.8.

Как видно из рис. 1, введение большего количества электролита (0.5—0.7 г-экв/л NaCl) вызывает заметное падение плотности окраски даже при pH=3.5. Некоторые данные о причинах этого явления можно получить по результатам кондуктометрических и спектрофотометрических исследований окрашивающих растворов (pH=3.5) с различным содержанием хлористого натрия.

На рис. 3 представлены результаты кондуктометрических измерений, выраженные в виде зависимости прироста электропроводности раствора

¹ Согласно литературным данным [3], максимальная прокраска шерсти наступает при pH=1.22.

от увеличения концентрации хлористого натрия при введении в раствор, соответствующими увеличению концентрации на 0.1 г-экв./л. ($\Delta\lambda = f(\Delta N)$). В чистой воде и в растворах, не содержащих красителя, $\Delta\lambda$ постоянно (прерывистая линия), как и следовало ожидать. При увеличении концентрации соли в окрашенных растворах имеет место уменьшение величины $\Delta\lambda$ (сплошная линия), связанное, вероятно, с понижением подвижности ионов красителя в результате агрегации. Это видно из того, что минимальное значение $\Delta\lambda$ достигается при концентрации электролита, вызывающей появление видимой коагуляции.

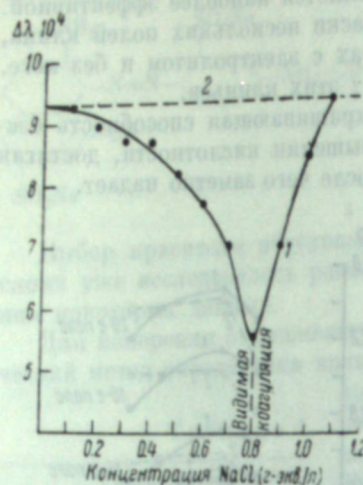


Рис. 3. Изменение $\Delta\lambda$ раствора прямого розового светочувствительного C в зависимости от концентрации хлористого натрия (рН = 3.5).
1 — $\Delta\lambda$ раствора, NaCl с красителем; 2 — $\Delta\lambda$ раствора NaCl без красителя.

При небольшой концентрации электролита агрегация красителя существенно мала, или во всяком случае образующиеся агрегаты недостаточны для значительного снижения подвижности частиц. Резкое уменьшение значения $\Delta\lambda$ при приближении к области видимой коагуляции свидетельствует о быстром увеличении числа агрегированных частиц крупного размера с малой подвижностью. Тот факт, что после достижения

коагуляции $\Delta\lambda$ не приходит сразу к предельному значению, объясняется тем, что после наступления коагуляции в растворе все еще остается некоторое количество свободного красителя, в чем можно убедиться фильтрованием такого раствора. При фильтровании растворов, в которых $\Delta\lambda$ пришло к максимальному значению, фильтрат оказывается бесцветным.

На рис. 4 представлены кривые поглощения некоторых из этих растворов при 20°, измеренные в кюветах с толщиной слоя в 0.05 мм (сплошные линии), красителя в 0.7 N NaCl при 50° (прерывистая линия) и чистого красителя при разбавлении в 1000 раз и толщине слоя 50 мм (пунктирная линия).

Изменение формы кривой и рост интенсивности полосы, соответствующей перегибу около 560 мкм, при разбавлении говорят о том, что эта полоса обусловлена наличием мономерной формы (или во всяком случае форм с малой степенью агрегации). Полоса $\lambda_{\text{макс}} = 516$ мкм принадлежит, по-видимому, димерам или более высоко агрегированным частицам. При добавлении соли имеет место заметное уменьшение интенсивности полосы с $\lambda_{\text{макс}} = 560$ мкм. Интенсивность полосы с $\lambda_{\text{макс}} = 516$ мкм уменьшается существенно незначительно, но максимум ее перемещается в сторону коротких волн, что отчасти связано с уменьшением ее смещения от истинного максимума в связи с резким сокращением взаимного перекрывания, а отчасти

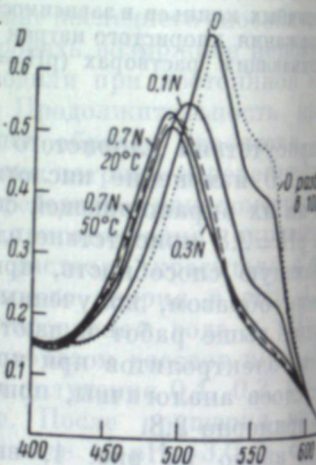


Рис. 4. Спектры поглощения растворов прямого розового светочувствительного C с различными концентрациями хлористого натрия (рН = 3.5).

по-видимому, с появлением новых частиц, поглощающих в более коротковолновой области. Интересно, что, как показывает сравнение кривых поглощения при 50 и 20°, изменение температуры в этих пределах не сказывается заметным образом на их поглощении.

В табл. 2 приведены значения $\lambda_{\text{макс}}$ и $\lambda_{\text{перегиба}}$ и соответствующие $D_{\text{макс}}$ и $D_{\text{перегиба}}$ для всех исследованных кондуктометрически 0.0025 M растворов красителей, содержащих различное количество хлористого натрия. В этой же таблице приведено отношение $D_{\text{макс}}$ и $D_{\text{перегиба}}$, изменение которого характеризует изменение соотношения количеств высокоагрегированных и мономерных (или во всяком случае малоагрегированных) форм.

Таблица 2

Концентрация NaCl, (г-экв./л.)	$\lambda_{\text{макс}}$	$D_{\text{макс}}$	$\lambda_{\text{перегиба}}$	$D_{\text{перегиба}}$	$\frac{D_{\text{макс}}}{D_{\text{перегиба}}}$
0	517	0.66	562	0.39	1.69
0.1	504	0.55	570	0.22	2.5
0.2	494	0.505	572	0.16	3.16
0.3	490	0.51	574	0.14	3.65
0.4	490	0.55	574	0.14	3.92
0.5	490	0.52	575	0.13	4.0
0.6	490	0.52	575	0.13	4.0
0.7	490	0.53	575	0.125	4.23

При сравнении данных по спектрам поглощения и электропроводности обнаруживается некоторое несоответствие: спектр поглощения наиболее сильно изменяется при прибавлении первой порции электролита (рис. 4, кривые 0 и 0.1 N); увеличение количества соли после 0.3 N уже не сказывается заметным образом на кривой поглощения, тогда как заметное уменьшение прироста электропроводности наступает лишь, начиная с раствора, содержащего 0.4 N NaCl (рис. 3).

Несоответствие данных по электропроводности и спектрам поглощения объясняется, вероятно, образованием агрегатов различных размеров [10, стр. 77, 102], причем на спектры поглощения наиболее резко влияют первые стадии агрегации, тогда как заметные изменения электропроводности наступают в результате дальнейшего образования крупных агрегатов (мицелл), включающих прослойку воды и, возможно, ионов электролита [10, стр. 99].

Естественно, что образование мицелл из агрегатов красителя не может существенным образом сказаться на положении и интенсивности отдельных полос поглощения. С другой стороны, образование мицелл, включающих также прослойки воды, приводит к увеличению объема частиц по отношению к единице заряда, что, очевидно, и вызывает резкое падение электропроводности.

Таким образом, судя по данным измерения электропроводности, можно думать, что падение окрашивающей способности растворов с большим содержанием электролитов частично связано с увеличением степени агрегации красителей. Для более подробного исследования влияния агрегации на окрашивающую способность растворов красителей были измерены в монохроматическом свете при $\lambda_{\text{макс}}$ характеристических кривых матричных клиньев, окрашенных в течение различных промежутков времени (от 10 сек. до 10 мин.) при температурах от 20 до 50° в растворах чистого красителя и содержащих хлористый натрий в количестве 0.3 и 0.7 г-экв./л.

На рис. 5 представлено семейство характеристических кривых полученных при различной продолжительности крашения в 0.0025 M

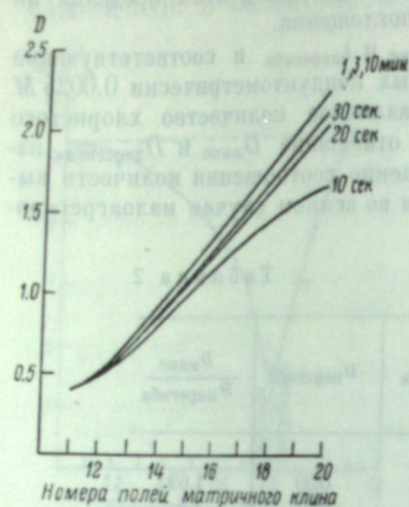


Рис. 5. Плотности окраски матричных клиньев в растворе красителя без электролита в зависимости от продолжительности крашения. Температура крашения 20° С (рН = 3.5).

в поры окрашиваемого материала [5, 6]. Согласно другой [14], при лагаются, что краситель проникает в окрашиваемый материал в моной форме или в малоагрегированных формах, находящихся в динамическом равновесии с высокоагрегированными формами, присутствующими в растворе. В этом случае падение окрашивающей способности и замедление скорости крашения вызываются уменьшением концентрации форм, способных к диффузии.

Согласно Фридману и Кремеру [15], в 5%-м геле желатина диаметр пор не превышает 50—60 Å. Можно предположить, что в применяемом нами набухшем слое задубленного желатинового рельефа величина пор значительно меньше.

Размер молекул прямого розового светопрозрачного С по длинной оси приблизительно равен 25—30 Å [12]. Высоту можно считать равной 10—15 Å, а толщину, учитывая плоское строение молекул, — 4—5 Å.

Таким образом, если считать, что агрегация происходит наращиванием молекул в результате соединения их по плоскостям [16—18] и расстояние между отдельными молекулами составляет только 4—5 Å, то в этом случае максимальное количество частиц в агрегате, еще способном перейти в

творе чистого красителя при температуре 20°, а на рис. 6 и 7 — аналогичные данные для растворов красителя, содержащих 0.3 и 0.7 г-экв./л при температурах 20 и 50°.

Сравнение этих кривых показывает, что с увеличением количества в растворе скорость крашения падает, а с повышением температуры увеличивается, тогда как максимальная окрашивающая способность раствора с повышением температуры возрастает. Таким образом, замедление скорости крашения при увеличении концентрации соли в окрашивающем растворе связано с увеличением количества агрегированных форм.

Существуют две точки зрения на влияние агрегации красителя на процесс крашения. Согласно одной из них, уменьшение окрашивающей способности с увеличением степени агрегации красителей связано с тем, что крупные агрегаты не могут проникать в поры окрашиваемого материала [5, 6]. Согласно другой [14], при

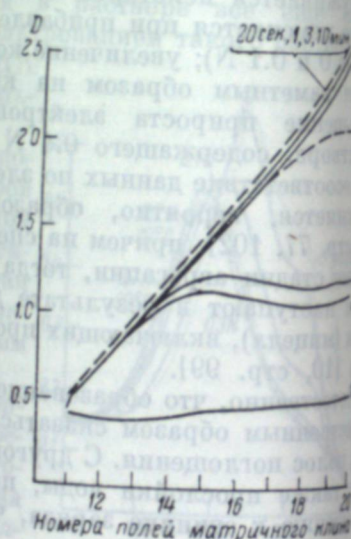


Рис. 6. Плотности окраски матричных клиньев в зависимости от продолжительности крашения в растворе красителя, содержащего 0.3 г-экв./л NaCl (рН = 3.5).

Сплошная линия — крашение при 20° С; прерывистая — крашение при 50° С.

задубленного желатинового слоя, не превышает 4—5 при условии свободного вращения частиц при их продвижении в порах.

Известно, что среднее число частиц в агрегатах прямых красителей в 0.002%-х водных растворах, содержащих 0.1—0.2 моля хлористого натрия, составляет 10—20 [5]. Отсюда следует, что в желатиновый рельеф может проникнуть лишь незначительное число агрегированных частиц, величина которых не превышает размеров пор. Поскольку при введении соли в окрашивающие растворы агрегация красителей увеличивается, то этим самым заметно снижается относительная концентрация форм, способных проникать в слой, а следовательно, при прибавлении уже первых порций электролита можно было бы ожидать понижения окрашивающей способности растворов.

С другой стороны, предположение, что окрашивание происходит только за счет малоагрегированных форм красителя, находящихся в динамическом равновесии с более высокоагрегированными, также не может объяснить факт увеличения окрашивающей способности растворов при прибавлении первых порций электролита, так как и в этом случае должно было бы замечаться некоторое снижение плотности окраски вследствие относительного уменьшения концентрации форм, способных к диффузии.

Следует также указать, что если рассматривать процесс крашения только с точки зрения агрегатного состояния красителя в растворе, то оказывается непонятным влияние рН на характер действия электролитов (рис. 1 и табл. 1). Отсюда следует, что повышение окрашивающей способности в присутствии нейтральных электролитов, по-видимому, главным образом связано с воздействием их на окрашиваемый слой.

Поскольку хромированный желатин является белком, то при рН выше изоэлектрической точки, в условиях, когда белок заряжается отрицательно, прибавление нейтральных солей вызывает выравнивание электрокинетических потенциалов окрашивающего раствора и окрашиваемого материала и тем самым облегчает диффузию окрашенных анионов красителя в слой.

Одновременно с этим необходимо учитывать конкуренцию ионов хлора и ионов красителя за активные группы желатина [10, стр. 426—427], что должно привести к уменьшению выбора красителя слоем при значительном увеличении концентрации хлор-ионов в растворе. Таким образом, явление прохождения окрашивающей способности растворов через максимум в зависимости от концентрации в них электролита объясняется, вероятно, тем, что при малых концентрациях преобладающим фактором является воздействие ионов электролита на электрокинетический потенциал окрашиваемого слоя, тогда как при больших концентрациях сильно сказываются агрегация красителя и вытесняющее действие ионов хлора по отношению к анионам красителя.

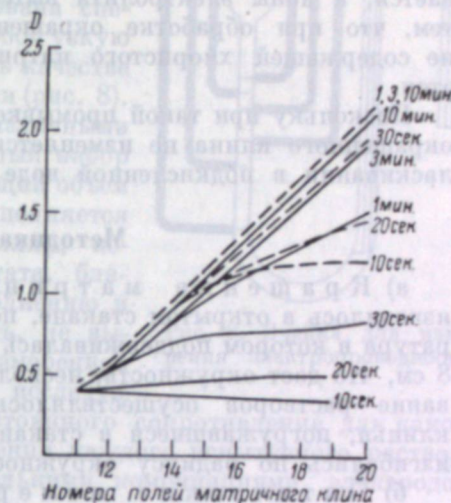


Рис. 7. Плотности окраски матричных клиньев в зависимости от продолжительности крашения в растворе красителя, содержащего 0.7 г-экв./л NaCl (рН = 3.5).

Сплошная линия — крашение при 20° С; прерывистая — крашение при 50° С.

Последнее предположение в некоторой степени подтверждается фактом: если окрасить желатиновый рельеф в растворе красителя, содержащем 0.3 г-экв./л NaCl, после чего для удаления красителя, находящегося на поверхности в виде капель, промыть его в течение 3 мин в подкисленном до pH=3.0 растворе поваренной соли той же концентрации, то первоначально пурпурный клин по мере высыхания приобретает оранжево-красную окраску с характерным бронзовым отливом. При окрасителе оказывается на поверхности слоя. В местах, где поверхность еще не окончательно высохла, краситель можно полностью удалить или фильтровальной бумагой, причем после удаления скоагулированного красителя этот участок рельефа остается почти бесцветным.

Очевидно, при высыхании слоя концентрация соли сильно уменьшается, а ионы электролита вытесняют краситель. Это подтверждается тем, что при обработке окрашенного рельефа в подкисленной воде не содержащей хлористого натрия, аналогичного явления не наблюдается.

Поскольку при такой промывке краситель не переходит в воду, окрашенного клина не изменяется, можно предположить, что при промывании в подкисленной воде электролит удаляется из слоя.

Методика и аппаратура

а) **Крашение матриц.** Крашение матричных рельефов производилось в открытом стакане, помещенном в водяной термостат, температура в котором поддерживалась с точностью $\pm 0.5^\circ \text{C}$. Диаметр стакана 8 см, что дает окружность, несколько большую длины клина. Перемешивание растворов осуществлялось якорной мешалкой. Окрашивание клиньев, погружавшихся в стакан с помощью специальных держателей, производилось по радиусу окружности, рельефом к раствору.

б) **Оптические измерения.** Все спектральные измерения проводились на автоматическом спектрофотометре СФ-2. Для измерения спектров поглощения тонких слоев красящих растворов употреблялись круглые кюветы от монохроматора УМ-2 с соответствующим вкладом. Для измерения кривых поглощения отдельных полей окрашенного рельефа (площадь поля равна 1 см) было сконструировано специальное приспособление, помещающееся перед входным окном фотометрического отделения.

Окрашенный клин вместе с контрольным (неокрашенным) зажимался в специальный держатель, в котором против клина имелся прорез. Этот держатель при помощи специальной защелки передвигался в корпусе приспособления точно на 1 см, что обеспечивало автоматический переход от одного поля к другому.

В связи с тем, что высота луча равнялась 20.0 мм при ширине а высота отдельного поля клина составляла 10 мм, в передней стенке приспособления имелось окошко высотой 8 мм, что обеспечивало прохождение луча точно через исследуемое поле.

Если величина плотности промеряемого поля превышала 1.5, для эталона вставлялась диафрагма из черной бумаги, срезающая по высоте часть луча, идущего через эталон, в результате чего измерение плотности во всех длинах волн уменьшалось на определенную величину. Запись больших плотностей производилась на нижележащих участках графика самописца.

в) **Измерение электропроводности.** Электропроводность растворов измерялась на специальном приборе с мостовой схемой переменного тока, с частотой около 10 000 гц. Компенсация мостовой схемы производилась по нуль-амперметру в цепи фазочувствительного детектора.

Пределы измерения — от 800 до 15 000 Ω с воспроизводимостью $\pm 2\%$. Показания отсчитывались по магазину сопротивления класса 0.1.¹

Большой диапазон возможных электропроводностей исследуемых растворов и конструкция прибора для измерения электропроводности, позволяющая производить точные отсчеты сопротивления лишь в определенных пределах, обусловили необходимость использования нескольких ячеек с различными константами и относительно высокими омическими сопротивлениями, а также по возможности с минимальным количеством раствора, требующегося для измерения.

С этой целью была сконструирована специальная ячейка,² представляющая собой узкую трубку ($d=5$ мм) с впаянными в нее в качестве электродов платиновыми проволочками (рис. 8). Наличие нескольких электродов с различными расстояниями между ними дает целый набор ячеек с различными константами. Общий объем жидкости в ячейке 6—7 мл. Ячейка заполняется засасыванием раствора через капилляр, конец которого находится вне термостата, благодаря чему все операции по заполнению и промывке ячейки можно производить, не вынимая ее из термостата. Перед измерением ячейка промывалась несколько раз исследуемым раствором до установления постоянного сопротивления для какой-либо комбинации электродов. Измерения каждого испытуемого раствора производились обязательно с несколькими комбинациями электродов.

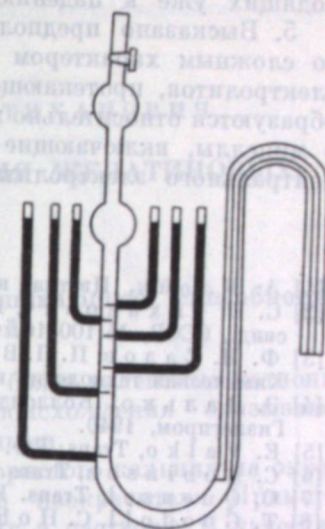


Рис. 8. Ячейка для измерения электропроводности.

Выводы

1. Прибавление хлористого натрия к раствору Прямое розовое светопрозрачное S изменяет окрашивающую способность последнего по отношению к задубленным желатиновым слоям, причем направление и величина этого изменения зависят от концентрации соли и pH раствора.
2. При $\text{pH} > 2.8$ прибавление относительно небольших количеств хлористого натрия вызывает увеличение окрашивающей способности по сравнению с исходным раствором, а при $\text{pH} < 2.8$ — уменьшение, что находится в соответствии с некоторыми литературными данными по крашению шерсти и дает основание предположить, что изоэлектрическая точка применяемых нами желатиновых задубленных слоев равна $\text{pH} = 2.8$.
3. При pH выше изоэлектрической точки окрашивающая способность растет с увеличением содержания в растворе хлористого натрия до некоторого предела, после которого дальнейшее увеличение концентрации приводит уже к ее падению. Высказано предположение, что повышение окрашивающей способности связано с выравниванием потенциала окрашиваемого слоя и раствора, тогда как понижение ее вызвано отчасти значительной агрегацией красителя и отчасти увеличением конкуренции анионов электролита и красителя за активные группы желатина.
4. По мере увеличения концентрации соли в растворах красителя Прямое розовое светопрозрачное S имеют место изменение спектров поглощения и нарушение равномерности прироста электропроводности. На-

¹ Прибор для измерения электропроводности сконструирован И. С. Файнбергом.

² Идея конструкции ячейки предложена К. В. Чмутовым.

большее изменение спектров поглощения происходит при прибавлении небольших количеств электролита, вызывающих увеличение окрашивающей способности растворов красителя, тогда как наибольшее изменение электропроводности замечается при концентрациях солей, ведущих уже к падению окрашивающей способности.

5. Высказано предположение, что указанные выше факты связаны со сложным характером процесса агрегации красителей под действием электролитов, протекающего, по-видимому, в две стадии. Первоначально образуются относительно небольшие агрегаты, которые затем соединяются в мицеллы, включающие в себя прослойки растворителя и, во всем, нейтрального электролита.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Клейн. Цветная кинематография. Госкиноиздат, 1939.
- [2] С. Е. Тиханович, Н. С. Спасокукоцкий, Н. М. Гуревич. Свид., СССР, № 100316.
- [3] Ф. И. Садов, П. П. Виктор, М. В. Корчагин, А. И. Матвеев. Химическая технология волокнистых материалов. Гизлегпром, 1952.
- [4] Э. Валько. Коллоидно-химические основы текстильной технологии. Гизлегпром, 1940.
- [5] E. Valko, Trans. Far. Soc., 31, 230, 1935.
- [6] C. Robinson, Trans. Far. Soc., 31, 245, 1935.
- [7] O. Quensel, Trans. Far. Soc., 31, 259, 1935.
- [8] T. Goodoll, C. Hobday, J. Soc. Dyers Col., 36, 58, 1942.
- [9] P. Alexander, J. Kitschener, Text. Res. J., 20, 203, 1950.
- [10] Т. Виккерстафф. Физическая химия крашения. Гизлегпром, 1956.
- [11] А. В. Бромберг, С. С. Мальцева, Коллоид. журн., 12, 9, 1950.
- [12] А. В. Бромберг, Коллоид. журн., 11, 1949.
- [13] К. Л. Мертц. Цветная фотография. Госкиноиздат, 1949.
- [14] T. Morton, Trans. Far. Soc., 31, 262, 1935.
- [15] L. Friedman, E. Kramer, J. Amer. Chem. Soc., 52, 1295, 1930.
- [16] G. Scheibe, Z. Angew. Chem., 50, 212, 1937.
- [17] E. Jolley, Nature, 139, 131, 1937.
- [18] S. E. Sheppard, Rev. of Mod. Phys., 14, 303, 1943.

Н. С. СПАСОКУКОЦКИЙ, С. Е. ТИХАНОВИЧ

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ КРАШЕНИЯ ЖЕЛАТИНОВЫХ СЛОЕВ

(Второе сообщение)

Влияние двухвалентных катионов на окрашивающую способность кислотных красителей

Из литературы [1—3] известно, что двух- и более валентные катионы при крашении материалов растительного происхождения оказывают большее влияние по сравнению с одновалентными.

В настоящей работе исследовано влияние хлористого кальция на окрашивающую способность растворов кислотного изокрасителя Прямого розового светопрозрачного С и состояние красителя в растворе. В качестве электролита выбраны соли кальция как наиболее вероятная (после солей щелочных металлов) примесь в красителе и в водопроводной воде, применяющейся в некоторых стадиях гидротинного процесса. Примененная методика исследования аналогична описанной в первом сообщении.

На рис. 1 показано изменение градиционных характеристик окрашенных матричных клиньев в зависимости от содержания хлористого кальция в растворе. Нанесенные на рис. 1 монохроматические плотности соответствуют максимуму поглощения спектральных кривых.

Окрашивающие растворы во всех случаях содержат 0.0025 моль/л красителя, 0.0002 г-м/л NaCl, pH растворов=3.5. Количество хлористого кальция изменялось от 0 до 0.007 г-экв./л.¹ Продолжительность крашения матричных клиньев 3 мин. при $20 \pm 0.1^\circ \text{C}$.

Как видно из рисунка, в отличие от растворов с хлористым натрием (первое сообщение), контраст окрашенных клиньев, а следовательно, и окрашивающая способность раствора при добавлении CaCl_2 непрерывно возрастают, хотя при больших концентрациях соли (начиная с 0.006 г-экв./л) замечается уменьшение окраски в больших плотностях, что видно по излому на характеристической кривой для более высоких ступеней рельефа.

Судя по тому, что контраст прямолинейных участков для этих концентраций выше, чем для меньших концентраций, можно думать, что уменьшение окраски является главным образом результатом медленной диффузии красителя, аналогично тому, как это имеет место для малых времен крашения в опытах с NaCl (первое сообщение).

Судя по значительному увеличению коэффициента контрастности, даже при таких малых концентрациях хлористый кальций оказывает гораздо большее влияние на окрашивающую способность растворов красителей по сравнению с хлористым натрием. Например, в случае прибавления 0.006 г-экв./л CaCl_2 коэффициент контрастности окрашенных матричных рельефов увеличивается на 0.45, в то время как прибавление

¹ Верхний предел ограничен наступлением видимой коагуляции красителя.

0.3 г-экв./л NaCl увеличивает коэффициент контрастности только до 0.15. Отсюда следует, что объяснение прироста окрашивающей способности при добавлении электролита (NaCl), с точки зрения мембранного равновесия, данное в первом сообщении, в случае CaCl_2 недостаточно, так как гораздо меньшее по сравнению с хлористым натрием значение заряда окрашиваемой поверхности¹ дает значительно большее увеличение окраски.

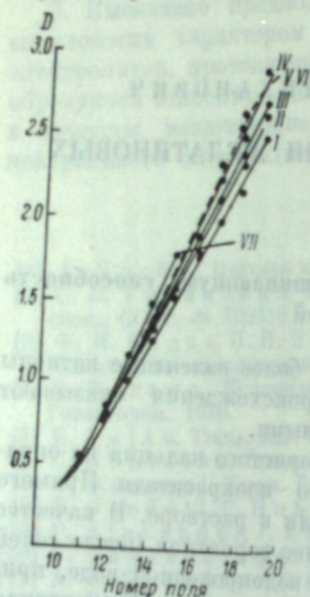


Рис. 1. Изменение градиентных характеристик окрашенных матриц от добавления различных количеств хлористого кальция к 0.0025 моль/л раствору Прямого розового светопрочного С, содержащего 0.005 г-экв./л NaCl. Измерения при $\lambda = 525$ мкм.

I — без CaCl_2 ; II — 0.001 г-экв./л; III — 0.002 г-экв./л; IV — 0.004 г-экв./л; V — 0.006 г-экв./л; VI — 0.008 г-экв./л; VII — 0.010 г-экв./л.

агрегированной. Как видно из таблицы, это соотношение даже при концентрациях, вызывающих коагуляцию, не достигает величины, наблюдаемой для хлористого натрия уже при концентрациях, далеких от области коагуляции (см. первое сообщение). Например:

для 0.2 N NaCl равно 3.16, $\frac{D_{\text{макс}}}{D_{\text{перегиба}}}$ для 0.7 N NaCl (концентрация области коагуляции) равно 4.23, тогда как даже в зоне коагуляции для растворов с CaCl_2 эта величина не превышает 2.90.

С другой стороны, данные, полученные при измерении электропроводности этих растворов (рис. 3, I), показывают, что величина изменения электропроводности раствора красителя при увеличении концентрации CaCl_2 на 0.001 г-экв./л ($\Delta\kappa = \kappa_{N+0.001} - \kappa_N = \Delta\kappa$) имеет минимальное значение при прибавлении первой порции электролита и непрерывно возрастает

¹ Предполагается, что изменение заряда окрашиваемого материала в области пропорционально концентрации электролита в растворе с учетом валентности электролита.

Для выяснения механизма действия хлористого кальция в процессе крашения решено исследовать влияние его присутствия в растворах красителей на их электропроводность и спектры поглощения, а также на окрашивающую способность таких растворов. Кроме того, было решено исследовать кинетику крашения в растворах с различным pH и различными концентрациями хлористого кальция.

На рис. 2 приведены спектральные кривые поглощения растворов, содержащих различные количества CaCl_2 (концентрация CaCl_2 выражена в г-экв./л).

Как видно из рис. 2, прибавление CaCl_2 вызывает уменьшение интенсивности поглощения мономолекулярной (или в том случае малоагрегированной) формы ($\lambda_{\text{макс}} \sim 560$ мкм). Одновременно падает интенсивность полосы поглощения более агрегированной формы ($\lambda_{\text{макс}} \sim 520$ мкм), причем она несколько смещается к коротким волнам, однако не столь заметно, как в случае добавления хлористого натрия.

В табл. 1 показано изменение соотношения $\frac{D_{\text{макс}}}{D_{\text{перегиба}}}$ для растворов с хлористым

кальцием, до известной степени характеризующее отношение количества высокоагрегированной формы красителей к количеству моно- или малоагрегированной. Как видно из таблицы, это соотношение даже при концентрациях, вызывающих коагуляцию, не достигает величины, наблюдаемой для хлористого натрия уже при концентрациях, далеких от области коагуляции (см. первое сообщение). Например:

для 0.2 N NaCl равно 3.16, $\frac{D_{\text{макс}}}{D_{\text{перегиба}}}$ для 0.7 N NaCl (концентрация области коагуляции) равно 4.23, тогда как даже в зоне коагуляции для растворов с CaCl_2 эта величина не превышает 2.90.

С другой стороны, данные, полученные при измерении электропроводности этих растворов (рис. 3, I), показывают, что величина изменения электропроводности раствора красителя при увеличении концентрации CaCl_2 на 0.001 г-экв./л ($\Delta\kappa = \kappa_{N+0.001} - \kappa_N = \Delta\kappa$) имеет минимальное значение при прибавлении первой порции электролита и непрерывно возрастает

вплоть до начала медленной коагуляции, наступающей при концентрации хлористого кальция, равной $7 \cdot 10^{-3}$ г-экв./л. После этого замечается небольшой спад вплоть до количеств, вызывающих мгновенную коагуляцию ($9 \cdot 10^{-3}$ г-экв./л). Следует отметить, что и при таком количестве CaCl_2 раствор остается несколько окрашенным. При введении $10 \cdot 10^{-3}$ г-экв./л CaCl_2 краситель полностью выпадает в осадок. Дальней-

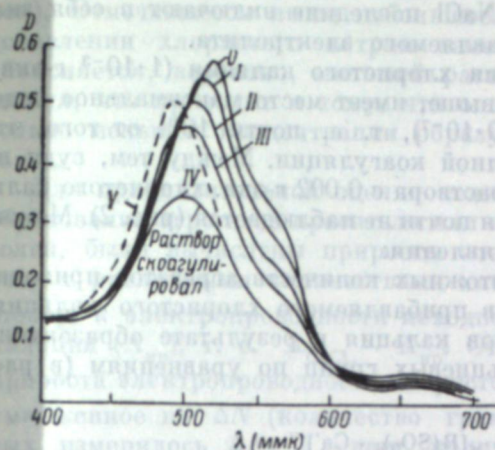


Рис. 2. Кривые поглощения растворов 0.0025 моль/л прямого розового светопрочного С, содержащего 0.005 г-экв./л NaCl и различные количества CaCl_2 .

О — без CaCl_2 ; I — 0.002 г-экв./л; II — 0.004 г-экв./л; III — 0.006 г-экв./л; IV — 0.007 г-экв./л; V — 0.008 г-экв./л.

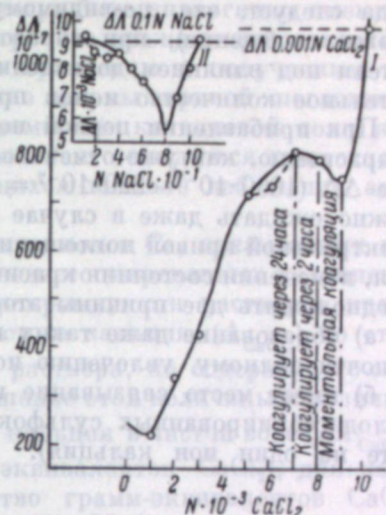


Рис. 3. Изменение $\Delta\kappa$ в 0.025 моль/л раствора красителя в зависимости от концентрации CaCl_2 (I) и NaCl (II).

шее прибавление хлористого кальция не изменяет значения $\Delta\kappa$, которое в этом случае равно получаемому при введении CaCl_2 в чистую воду.

Сопоставление данных по $\Delta\kappa$ растворов NaCl и CaCl_2 в чистой воде показывает, что при изменении концентрации раствора на 0.1 г-экв./л $\Delta\kappa$ для NaCl составляет $94\,000 \cdot 10^{-7}$, тогда как для хлористого кальция аналогичная величина составляет $106\,000 \cdot 10^{-7}$. Таким образом, величина $\Delta\kappa$ на 0.1 г-экв./л составляет приблизительно $100\,000 \cdot 10^{-7}$. Если рассчитывать, исходя из этих данных, возможное падение электропроводности в результате полной коагуляции 0.0025 M раствора красителя, приблизительно соответствующего 0.01 раствору одновалентного электролита (краситель Прямой розовый светопрочный С содержит четыре сульфогруппы), то для NaCl падение электропроводности составит $94\,000 \cdot 10^{-7}$, а для CaCl_2 — $106\,000 \cdot 10^{-7}$.

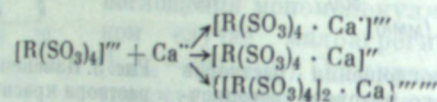
Таблица 1

Концентрация (г-экв./л)	$\lambda_{\text{макс}}$	$D_{\text{макс}}$	$\lambda_{\text{перегиба}}$	$D_{\text{перегиба}}$	$\frac{D_{\text{макс}}}{D_{\text{перегиба}}}$
0	517	0.66	562	0.39	1.69
0.002	513	0.545	564	0.275	1.98
0.004	506	0.50	566	0.22	2.27
0.006	502	0.46	570	0.18	2.55
0.007	500	0.35	574	0.12	2.90

группы и, следовательно, в растворе является четырехвалентным. Это получается, что возможная $\Delta\Lambda$, без учета влияния величины и молекулы, в этом случае может составить около $10\,000 \cdot 10^{-7}$. В действительности разница между предельной $\Delta\Lambda$ на 0.1 г-экв. прибавляемого NaCl и $\Delta\Lambda$ в растворе красителя даже в точках, относительно далеких от коагуляции, превышает эту величину (например, для случая прибавления 0.6 г-экв./л NaCl получаем $94\,000 \cdot 10^{-7} - 76\,000 \cdot 10^{-7} = 18\,000 \cdot 10^{-7}$). Отсюда следует, что, по-видимому, как это было предположено ранее (первое сообщение), при образовании крупных агрегатов (мицелл) красителя под влиянием добавления NaCl последние включают в себя значительное количество ионов прибавляемого электролита.

При прибавлении первой порции хлористого кальция ($1 \cdot 10^{-3}$ г красителю, как уже отмечалось выше, имеет место максимальное изменение $\Delta\Lambda$ ($1060 \cdot 10^{-7} - 220 \cdot 10^{-7} = 850 \cdot 10^{-7}$), т. е. почти 10% от того, что можно ожидать даже в случае полной коагуляции. Между тем, спектральной кривой поглощения раствора с 0.002 г-экв. хлористого кальция, изменения состояния красителя почти не наблюдается (рис. 2). Мы предположить две причины этого явления:

- а) образование даже таких ничтожных количеств агрегатов приводит к почти полному увлечению ионов прибавляемого хлористого кальция;
- б) имеет место связывание ионов кальция в результате образования малодиссоциированных сульфокальциевых групп по уравнениям (с учетом на один ион кальция):



Здесь R — радикал красителя.

Первое предположение противоречит экспериментальным данным, так как с увеличением количества прибавляемого $CaCl_2$ и увеличении степени агрегации, что ясно видно из кривых поглощения соответствующих растворов, $\Delta\Lambda$ не падает, как в случае с NaCl, а возрастает. Напротив, приняв второе предположение, этот факт можно объяснить тем, что по мере образования недиссоциированных SO_3Ca -групп увеличивается константа диссоциации по оставшимся свободным сульфогруппам молекулы красителя, в результате чего их связывание с ионами кальция затрудняется. Это предположение вытекает из того факта, что при частичной нейтрализации сульфогрупп уменьшаются заряд молекулы красителя, следовательно, частично его электростатическое притяжение к оставшимся в растворе ионам кальция.

С другой стороны, известно, что введение электроположительных заместителей в молекулы кислот вызывает понижение константы диссоциации, введение же электроотрицательных — повышает ее. Сульфогруппы, как в ионизированном, так и в неионизированном состоянии являются электроотрицательной. Однако в ионизированном состоянии ее электроотрицательность несколько понижается [4]. Образование недиссоциированных кальциевых солей, вероятно, равноценно подавлению ионизации и должно увеличивать электроотрицательность сульфогрупп, по которой имеет место солеобразование и, следовательно, кислотность (константа диссоциации соответствующих солей) сульфогрупп, оставшихся свободными. Естественно, что по мере связывания сульфогрупп образование недиссоциированных солей по оставшимся свободными сульфогруппам затрудняется, а следовательно, все большая часть прибавляемого хлористого кальция остается в растворе в виде ионов и сказывается на увеличении электропроводности. В то же время образование недиссоциированных солей по части сульфогрупп не может заметно сказаться на спек-

поглощения раствора красителя, так что становится понятным относительно малое изменение его при добавлении первых порций $CaCl_2$.

По достижении некоторой определенной концентрации хлористого кальция в растворе начинается процесс коагуляции, сначала в скрытой форме, затем уже в явной. При этом прирост $\Delta\Lambda$ постепенно замедляется, проходит через максимум и начинает падать вплоть до точки мгновенной коагуляции.¹

Причины падения $\Delta\Lambda$ в этом случае могут быть аналогичны имеющим место в случае с NaCl (увлечение электролита осаждающимся красителем). Отмечавшееся выше небольшое по сравнению с получаемым при добавлении хлористого натрия изменение формы кривой поглощения объясняется, вероятно, меньшей растворимостью кальциевой соли красителя, что приводит к тому, что она начинает осаждаться при относительно меньшей концентрации образующихся вначале небольших агрегатов.

Для приблизительной оценки количества ионов Ca, связываемых при образовании агрегатов красителя или их недиссоциированных кальциевых солей, были вычислены приросты электропроводности растворов красителя с различными количествами хлористого кальция (Λ_{CaCl_2}) по отношению к электропроводности исходного раствора, не содержащего соли кальция ($\Lambda_{кр}$), т. е. $\Lambda_{CaCl_2} - \Lambda_{кр}$. Отношение этой величины к величине прироста электропроводности хлористого кальция в чистой воде ($\Delta\Lambda_{CaCl_2}$), умноженное на ΔN (количество грамм-эквивалентов $CaCl_2$), для которых измерялось $\Delta\Lambda_{CaCl_2}$, дает количество грамм-эквивалентов $CaCl_2$, определяющих прирост электропроводности данного раствора. Вычитая эту величину из числа грамм-эквивалентов хлористого кальция, прибавленного в раствор (n), получаем число грамм-эквивалентов $CaCl_2$, связанных с красителем. Отсюда легко определить процент хлористого кальция, связываемого с красителем, по отношению к введенному хлористому кальцию и процент связываемых сульфогрупп. Расчет производился по формулам:

$$n - \frac{(\Lambda_{Ca} - \Lambda_{кр.}) \cdot \Delta N}{\Delta\Lambda_{CaCl_2}} \cdot 100 = \text{процент связываемого } CaCl_2 \text{ по отношению к введенному.} \quad (1)$$

$$n - \frac{(\Lambda_{Ca} - \Lambda_{кр.}) \cdot \Delta N}{N_{SO_3Na}} \cdot 100 = \text{процент связанных сульфогрупп красителя.} \quad (2)$$

В табл. 2 приведены результаты соответствующих расчетов (для $\Delta N = 1 \cdot 10^{-3}$ г-экв./л и $N_{SO_3Na} = 0.0025 \cdot 4 = 0.01$ г-экв./л).

Из таблицы следует, что наибольшее количество связываемых кальцием сульфогрупп составляет не более 40% от возможного. В действительности эта величина еще меньше, так как при расчете не учитывается падение электропроводности в результате частичной коагуляции красителя.

¹ Интересно отметить, что для коагуляции красителя требуется $CaCl_2$ приблизительно в 100 раз меньше, чем NaCl, тогда как, согласно правилу Шульце—Гарди [5], соотношение коагулирующей способности двух- и одновалентных электролитов по отношению к отрицательным зольям составляет приблизительно 80 : 1. Близость этих величин дает основание предполагать общность механизма собственно коагуляции красителей и зольей и является некоторым подтверждением высказанного в первом сообщении суждения о двухстадийности процесса агрегации красителей.

Таблица 2

концентрация CaCl_2 в окрашивающем растворе (г-экв./л)	$\lambda_{\text{Ca}} \cdot 10^{-4}$	$(\lambda_{\text{Ca}} - \lambda_{\text{кр}}) \cdot 10^{-4}$	$\lambda_{\text{Ca}} - \lambda_{\text{кр}}$ $\Delta \lambda_{\text{CaCl}_2}$	Связанный Ca^{++} по отношению к введенному в раствор красителю (%)	Связанные сульфатные группы красителя (%)
0.00	10.62				
0.001	10.84	0.22	0.20	80	8
0.002	11.18	0.56	0.53	73	14.7
0.003	11.6	0.98	0.92	69	20.8
0.004	12.22	1.60	1.51	62	24.9
0.005	12.93	2.31	2.18	56	28.2
0.006	13.67	3.05	2.88	52	31.2
0.007	14.48	3.86	3.48	53	35.2
0.008	15.26	4.64	4.38	45	36.2
0.009	15.99	5.37	5.06	44	39.4
0.010	17.22	6.6	6.2	38	38

$\Delta \lambda_{\text{CaCl}_2}$ (при 0.001 г-экв./л чистой воды) = $1.060 \cdot 10^{-4}$

Можно думать, что основным отличием в действии NaCl и CaCl_2 на процесс крашения является именно частичная нейтрализация сульфатной группы красителя в результате образования кальциевых солей, приводящая к уменьшению отрицательного заряда иона красителя и облегчающая тем самым его проникновение в слой.

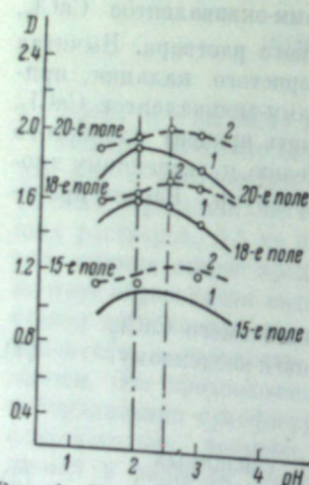


Рис. 4. Изменение плотности окраски отдельных полей матричных рельефов от pH растворов и наличия CaCl_2 . Продолжительность крашения 10 мин.
1 — без CaCl_2 ; 2 — 0.03% CaCl_2 (~ 0.06 N).

Интересно отметить, что для достижения равного эффекта по увеличению плотности окраски слоя хлористого кальция требуется в 150 раз меньшее количество по сравнению с хлористым натрием, что выходит далеко за пределы соотношения коагулирующей способности одно- и двухвалентных катионов. Таким образом, прибавление кальциевых солей, с одной стороны, подобно NaCl приводит к выравниванию потенциалов окрашиваемого слоя и способствует образованию недиссоциированных кальциевых солей. Наложение второ-

эфекта и обеспечивает, вероятно, столь большое увеличение окрашивающей способности раствора при прибавлении хлористого кальция по сравнению с действием хлористого натрия.

Измерение характеристических кривых матричных клиньев, окрашенных в растворе красителя, содержащем 0.003 г-экв./л CaCl_2 , с различной продолжительностью крашения (от 10 сек. до 30 мин.) и температуре 20 и 50° C (рис. 5 и 6), дало результаты, аналогичные полученным при прибавлении NaCl (см. первое сообщение).

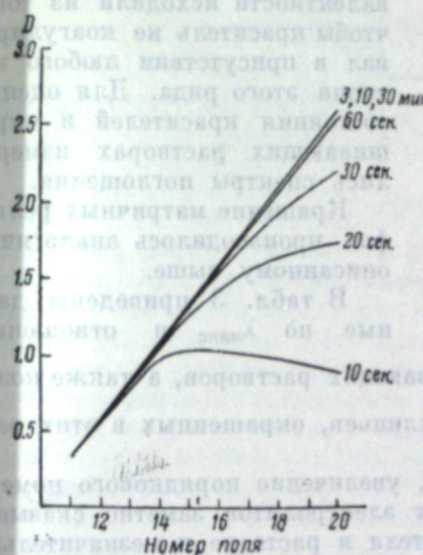


Рис. 5. Градационные характеристики матриц, окрашенных в течение различных промежутков времени в растворе 0.0025 моль/л Прямого розового светопрочного С, содержащего 0.005 г-экв./л NaCl и 0.003 г-экв./л CaCl_2 . Температура крашения 20° C.

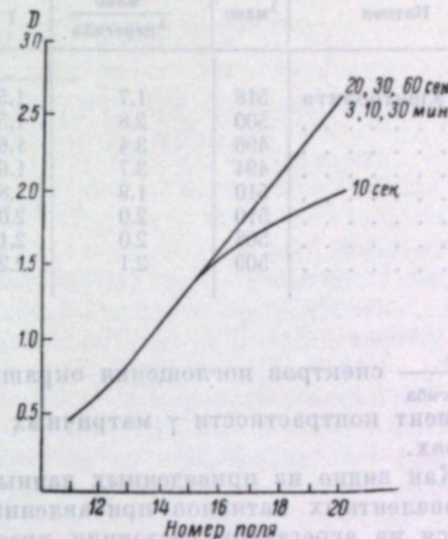


Рис. 6. Градационные характеристики матриц, окрашенных в течение различных промежутков времени в растворе 0.0025 моль/л Прямого розового светопрочного С, содержащего 0.005 г-экв./л NaCl и 0.003 г-экв./л CaCl_2 . Температура крашения 50° C.

При малых временах крашения контраст прямолинейного участка практически не изменяется, но на высоких ступенях рельефа замечается уменьшение плотности окраски. При повышении температуры крашения увеличивается скорость окраски, но не окрашивающая способность, что видно из полного совпадения характеристических кривых для оптимальных времен окраски. Интересно отметить, что с повышением высоты рельефа для относительно малых времен крашения (10 сек. при 20°) наблюдается даже падение плотности. Это, по-видимому, свидетельствует о том, что с увеличением высоты рельефа несколько изменяется его строение, следствием чего, возможно, является затруднение диффузии красителя в рельеф.

Опыты по крашению желатиновых рельефов в присутствии небольших количеств хлористого кальция были произведены также с другими красителями разного строения, например с Бензофиолетовым Р, Тиокармином Р, Бриллиантовым желтым, Кислотным ярко-оранжевым Ж, Прямым алым, Кислотным прочно зеленым Б и др.

Во всех случаях было установлено значительное повышение плотности окраски желатиновых рельефов. Это говорит о том, что наблюдаемый эффект является общим свойством кислотных красителей.

Представлялось интересным также выяснить влияние порядка номера одно- и двухвалентных ионов на окрашивающую способность растворов красителей. С этой целью были исследованы растворы сителя Прямого розового светопрочного С, содержащие соли разных катионов. Все катионы с одинаковой валентностью вводились в раствор красителя в равных концентрациях: одновалентные — 0,3 г-м, двухвалентные — 0,0036 г-м.

Таблица 3

Катион	$\lambda_{\text{макс}}$	$\frac{\lambda_{\text{макс}}}{\lambda_{\text{перегиба}}}$	γ
Без электролита	518	1.7	1.5
Li	500	2.8	1.55
Na	496	3.4	1.6
K	494	3.7	1.6
Mg	510	1.9	1.8
Ca	510	2.0	2.0
S ₂	508	2.0	2.1
Ba	509	2.1	2.2

При подборе концентрации электролита для каждого валентности исходили из того, чтобы краситель не коагулировал в присутствии любого катиона этого ряда. Для определения состояния красителей в растворах измерялись спектры поглощения. Крашение матричных растворов производилось аналогично описанному выше.

В табл. 3 приведены значения $\lambda_{\text{макс}}$ и отношения

$\frac{\lambda_{\text{макс}}}{\lambda_{\text{перегиба}}}$ спектров поглощения окрашивающих растворов, а также коэффициент контрастности γ матричных клиньев, окрашенных в эти растворы.

Как видно из приведенных данных, увеличение порядкового номера одновалентных катионов прибавленных электролитов заметно сказывается на агрегатном состоянии красителя в растворе и незначительно отражается на окрашивающей способности последнего, однако тенденция к увеличению коэффициента контрастности наблюдается.

Для двухвалентных катионов соотношение обратное: окрашивающая способность изменяется сильнее, чем агрегатное состояние. Следует отметить, что по своему действию на агрегацию красителей и на окрашивающую способность их растворов одно- и двухвалентные катионы укладываются в так называемые лиотропные ряды.

Выводы

1. Исследовано влияние добавления небольших количеств хлорида кальция на окрашивающую способность растворов красителя Прямого розового светопрочного С по отношению к задубленным желатиновым слоям. При этом установлено, что хлористый кальций действует во много раз эффективнее хлористого натрия.
2. На основании данных кондуктометрического и спектрофотометрического анализа красящих растворов с различным количеством хлорида кальция и сопоставления их с результатами опытов по крашению выдвинуто предположение, что резкое повышение окрашивающей способности в присутствии CaCl_2 вызвано, кроме причин, обуславливающих эффект одновалентных катионов, также дополнительным эффектом повышения заряда молекул кислотного красителя вследствие образования кальциевых солей.
3. Исследование солей различных катионов показало, что по действию на окрашивающую способность растворов и агрегатное состояние красителей в них одно- и двухвалентные катионы укладываются в лиотропные ряды.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. П. Викторов, Изв. текст. пром., 6—7, 73, 1930.
- [2] Э. Валько. Коллоидно-химические основы текстильной промышленности, ч. II. Гизлегпром, 1940.
- [3] Т. Виккерстафф. Физическая химия крашения. Гизлегпром, 1956.
- [4] Н. С. Спасокукоцкий, И. И. Левкоев, Б. С. Портная, Докл. АН СССР, 93, 671, 1953.
- [5] Г. Р. Кройт. Наука о коллоидах. Изд. ИЛ, 1955.

III. ТЕОРИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Н. П. АДАШЕВ, Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦВЕТНЫХ КИНОИЗОБРАЖЕНИЙ

1. Введение

Градационные искажения в цветных фотографических и киноизображениях являются результатом нелинейности фотографического процесса, обусловливаемой использованием начального и конечного участков характеристических кривых элементарных слоев негативного и позитивного, а также дубльнегативного многослойных материалов. Градационные искажения приводят не только к уменьшению контраста и потере деталей в тенях и светах, но прежде всего к искажению цветовых тонов.

При этом сказывается не только грубое нарушение экспозиционного режима — когда в области недодержек или передержек регистрируется лишь излучение, образующее главную составляющую данного цвета (или также и менее очевидное нарушение — когда в начальном участке ответствующей характеристической кривой негативного материала оказывается второстепенная составляющая данного цвета (например, синего в оранжевом цвете невысокой насыщенности). Нередко все три составляющие хроматического цвета воспроизводятся участками характеристических кривых, имеющими различный градиент. Подобные искажения обычно не компенсируются в последующих этапах получения цветного изображения (при контратипировании и печати).

Таким образом, градационные искажения на любом этапе формирования цветофотографического изображения приводят к изменению соотношений между тремя составляющими данного хроматического цвета, и, следовательно, к искажению цветового тона в позитивном изображении. Это не относится лишь к серым цветам при их воспроизведении хорошо сбалансированными материалами.

Действительно, при наличии даже весьма значительных градационных искажений, совершенно видоизменяющих все хроматические цвета, в изображении серой шкалы меняется лишь контраст отдельных ее участков, серое же остается серым, поскольку соотношение между тремя составляющими в сером цвете каждого поля не нарушается, когда они регистрируются в самом начале или в самом конце характеристических кривых элементарных слоев пленки. Именно поэтому в последние годы подвергнута сомнению целесообразность контроля цветного воспроизведения по серой шкале.

Целью денситометрического анализа киноизображений было выяснение насколько часто начальные и конечные участки характеристических кривых многослойных пленок используются при формировании изображений в цветном кинонегативе и кинопозитиве.

В свое время статистический анализ денситометрических свойств черных белых киноизображений, проведенный С. М. Антоновым и Е. Н. Голы-

вой [2], а затем в широких масштабах И. Б. Блюмбергом и И. В. Гельвинг [3], позволил существенно развить теорию тоновоспроизведения и технологию обработки пленок. К сожалению, в литературе по цветной фотографии и кинематографии нет аналогичных сведений о денситометрических свойствах цветных киноизображений.

В данной работе для обследования были выбраны только такие производственно полученные негативы и позитивы, которые принадлежали вполне доброкачественным цветным киноизображениям.

2. Содержание и объекты исследования

Контраст черно-белого изображения может быть охарактеризован разностью его максимальной и минимальной оптических плотностей, т. е. значением интервала плотностей. Определяя, какие участки характеристической кривой использованы для построения изображения, можно сделать выводы о правильности экспозиционного режима. Аналогичным образом может быть охарактеризован контраст и цветного изображения, однако указанный выше принцип оценки должен быть реализован применительно к каждой из трех характеристических кривых данной пленки, чем обуславливается большая трудоемкость обследования цветного кадра.

Было произведено денситометрическое обследование 1000 кинонегативов и 700 кинопозитивов текущей (без контратипирования) печати. Обследованные кадры принадлежали 24 художественным и научно-популярным фильмам, выпущенным киностудиями Москвы и Ленинграда в 1954—1956 гг., причем 30% кадров были сняты в павильоне, а остальные — на натуре с подсветкой в тенях и без нее.

Кроме статистической обработки результатов измерений по всей массе обследованных кадров, было произведено обобщение данных дифференцировано по фильмам и по наиболее важным сюжетным элементам изображений.

3. Методика исследования

Оптические свойства цветных полей, т. е. фотографический эффект на них, оценивались тремя значениями приведенных к серому поверхностных концентраций c' красителей [4], т. е. значениями эквивалентно-серых плотностей. Для определения этих величин измерялись монохроматические плотности D_λ поля в трех длинах волн, соответствующих максимумам поглощения каждого из красителей пленки. Значения c' вычислялись по уравнениям, связывающим их с величинами D_λ [4]. Определены интервалы поверхностных концентраций $\Delta c'$ каждого из красителей, используемых при формировании изображения.

Денситометрический анализ киноизображений в большинстве случаев требует спектрофотометрирования цветных полей малых размеров. Для этого необходим близкий к монохроматическому световой пучок высокой интенсивности и весьма малого сечения. С другой стороны, должна быть создана возможность фотометрирования полей большой плотности (особенно в позитивах). Точность измерений при прочих равных условиях может быть повышена путем увеличения площади сечения измеряющего пучка и апертуры объектива спектрофотометра. Невозможность увеличения апертуры и противоречивость указанных двух условий заставила нас исключить из обследования кинокадры, особенно богатые мелкими элементами. В этом отношении наибольшие трудности представляют изображения человеческого лица на общих планах, крон деревьев и т. п. Следует отметить, что в полях кадра, насыщенных по цвету, концентрация, а следовательно, и вредное поглощение одного или двух красителей могут быть малыми, благодаря чему становится возможным денситометри-

ровать поля с весьма высокими концентрациями одного или двух красителей, обуславливающих данный цвет.

Денситометрирование производилось на фотоэлектрическом спектрофотометре, состоящем из монохроматора УМ-2 со стеклянной оптикой, микропроектионной приставки, дающей в плоскости исследуемого поля световое пятно с максимальным линейным размером 1.5 мм, и селенового фотоэлемента, соединенного с зеркальным гальванометром М-21. Необходимость обследования весьма малых элементов изображения потребовала уменьшения светового пятна с помощью маски до размеров 1×1 мм. Такое ограничение интенсивности пучка было компенсировано некоторым расширением щелей монохроматора, что понизило строгость монохроматизации, однако лишь в допустимых пределах: спектральные интервалы не превышали 10 мкм. В этих условиях была достигнута надежная точность измерений поверхностных концентраций c' красителей до значения 2.4, а в особо благоприятных случаях до значения 2.8.

Как в негативах, так и в позитивах отбор элементов кадра, подлежащих денситометрированию, проводился путем их рассматривания через лупу последовательно за тремя светофильтрами — синим, зеленым и красным. Такой метод, естественно, придавал отбору приближенный характер. Необходимость отыскания в каждом кадре минимальной и максимальной поверхностных концентраций каждого из красителей приводила к тому, что денситометрировались поля любого цвета. Иными словами, полям выраженного желтого, пурпурного и голубого цветов, образованным в основном лишь одним красителем, при отборе не отдавалось предпочтение перед полями других цветов, содержащими в соизмеримых концентрациях два или даже три красителя.

Описанная методика позволила спектрофотометрировать любые поля кионегативов во всем диапазоне поверхностных концентраций красителей, встречающихся в этих полях. Значительные трудности возникли при фотометрировании темных полей в кинопозитивах. В последних могли быть измерены высокие концентрации красителей лишь в полях, имеющих отчетливо различную окраску, т. е. содержащих в больших количествах лишь один или два красителя. Это неизбежно внесло некоторую неполноту в статистический анализ денситометрических свойств кинопозитивов.

Статистически обобщенные данные о денситометрических свойствах обследованных киноизображений позволили построить кривые распределения кадров по поверхностным концентрациям c' каждого красителя. В приводимых далее графиках с кривыми распределения на осях абсцисс отложены приведенные к серому поверхностные концентрации c' красителей (ФЭСП — в случае негативов и ВЭСП — в случае позитивов), а на осях ординат — относительное число $\frac{\Delta N}{N}$ (в %) кадров, содержащих в данном элементарном слое соответствующую поверхностную концентрацию красителя. Кривые строились отдельно для наиболее светлых и наиболее темных по каждому красителю элементов кадра, т. е. для наименьших ($c'_{\min}$) и наибольших ($c'_{\max}$) поверхностных концентраций красителя.

Данные кривой распределения переносились на характеристическую кривую соответствующего слоя. На приводимых рисунках выделены рабочие участки характеристических кривых, соответствующие диапазонам вероятных значений рассматриваемых поверхностных концентраций, и наиболее вероятные значения последних (отмечены кружками). В качестве границ используемого интервала поверхностных концентраций были условно приняты значения c' , соответствующие точкам на кривых распределения, ординаты которых составляют 10% от максимальной ординаты.

Обследованные кадры были сняты на негативных пленках ДС-2 различных осей, и, как правило, трудно установить, к какой именно партии пленки относится каждый данный кадр. Это заставило нас усреднить характеристические кривые негативных пленок и относить результаты статистического обследования кадров к таким усредненным характеристическим кривым. Что касается позитивных кадров, то всегда было известно, на каких пленках они напечатаны. Однако и в этих случаях для анализа всей массы обследованных позитивов значения поверхностных концентраций отнесены также к усредненным характеристическим кривым. При усреднении характеристических кривых в общем наблюдалась их хорошая сходимость, и разброс вдоль оси ординат не превышал ± 0.2 единицы c' .

4. Результаты исследования цветных кионегативов

На рис. 1 в качестве примера приведены кривые распределения всех 1000 обследованных кионегативов по значениям $c'_{\min}$, $c'_{\max}$ и $\Delta c'$ всех трех красителей. Соответствующие рабочие участки характеристических кривых негативной пленки представлены на рис. 2. Численные данные о негативах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Денситометрические параметры кионегативов
(процент кадров, характеризующихся данным значением c' красителя)

Границы классов (c')	Желтый			Пурпурный			Голубой		
	$c'_{\min}$	$c'_{\max}$	$\Delta c'$	$c'_{\min}$	$c'_{\max}$	$\Delta c'$	$c'_{\min}$	$c'_{\max}$	$\Delta c'$
0.00—0.10	1	—	5	—	—	2	—	—	1
0.11—0.20	13	—	9	6	—	4	1	—	2
0.21—0.30	20	—	16	23	—	6	12	—	4
0.31—0.40	17	2	19	19	—	9	21	—	6
0.41—0.50	16	6	15	13	—	12	18	—	9
0.51—0.60	14	14	11	10	2	14	15	—	10
0.61—0.70	7	12	9	5	5	10	10	1	12
0.71—0.80	5	6	7	4	10	10	8	2	13
0.81—0.90	4	7	5	3	9	8	6	3	14
0.91—1.00	2	10	3	4	8	8	5	5	12
1.01—1.10	1	12	1	4	7	7	3	9	9
1.11—1.20	—	16	—	3	5	5	1	11	6
1.21—1.30	—	10	—	3	4	3	—	15	2
1.31—1.40	—	5	—	3	6	2	—	18	—
1.41—1.50	—	—	—	—	7	—	—	17	—
1.51—1.60	—	—	—	—	8	—	—	10	—
1.61—1.70	—	—	—	—	10	—	—	7	—
1.71—1.80	—	—	—	—	9	—	—	2	—
1.81—1.90	—	—	—	—	6	—	—	—	—
1.91—2.00	—	—	—	—	4	—	—	—	—

Характер найденных значений концентраций и их интервалов, естественно, связан с техническими и изобразительными особенностями каждого фильма и типичных для него объектов съемки. Это отчетливо видно, например, на рис. 1, где кривые распределения по значениям $c'_{\max}$ желтого и пурпурного красителей имеют по два максимума. Первый из них соответствует объектам, снятым в павильоне, второй — натурным объектам, для большинства которых характерны высокие значения синей и зеленой составляющих их цвета. Аналогичный вывод можно сделать

из сопоставления свойств натуральных (рис. 3) и павильонных (рис. 4) негативов. Об этом же, наконец, говорит и анализ кионегативов, проведенный дифференцированно по четырем фильмам («Укротительница тигров», «Герои Шипки», «Повесть о лесном великане» и «Осушение болот»). Здесь, как видно из рис. 5, для первых трех фильмов наивероятнейшие значения

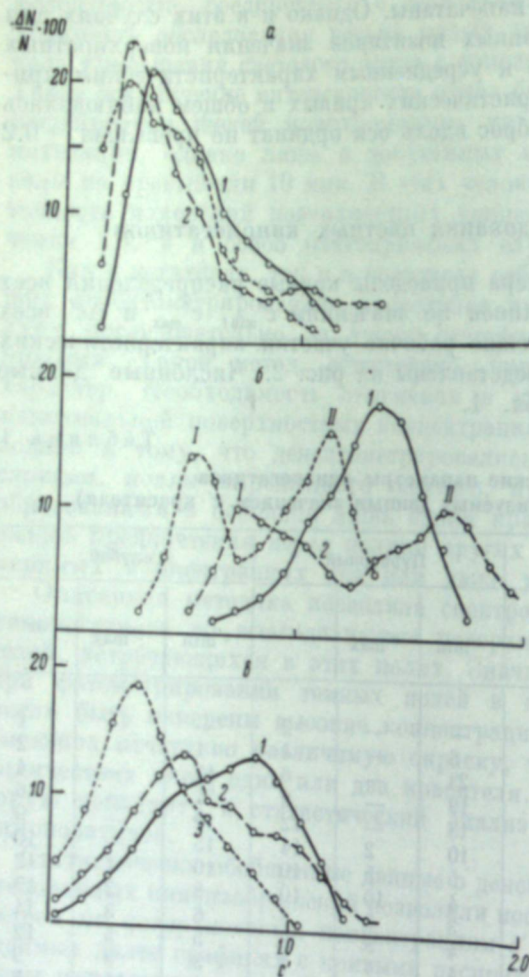


Рис. 1. Кривые распределения 1000 кионегативов по значениям минимальных поверхностных концентраций $c'_{\min}$ (а), максимальных поверхностных концентраций $c'_{\max}$ (б) и интервалов поверхностных концентраций $\Delta c'$ (в). Максимумы I соответствуют кадрам, снятым при искусственном освещении в павильоне; максимумы II — кадрам, снятым при естественном освещении на натуре. [Слои: 1 — нижний; 2 — средний; 3 — верхний.]

Более четкие закономерности обнаруживаются при анализе кионегативов с разбивкой по сюжетным признакам (рис. 6). Особенно устойчивы денситометрические свойства изображений человеческого лица как грима). Как правило, изображение лица формируется в прямолинейном участке характеристических кривых негативной пленки, и в этом отношении экспозиционный режим соблюдается операторами достаточно строго.

$c'_{\min}$ желтого красителя совпадают и приходится на значение $c' = 0.35$, а в четвертом фильме — на $c' = 0.55$. Это вызвано тем, что фильм «Осушение болот» содержит только натурные кадры, снятые при естественном освещении, характеризующемся высокой цветовой температурой. Этим же можно объяснить и весьма высокие максимальные значения $c'_{\max}$ желтого красителя в негативе того же фильма. Верхний предел области максимальных поверхностных концентраций желтого красителя в негативе фильма «Осушение болот» не удалось установить, поскольку они превышали поддающиеся точному измерению. Для негатива этого фильма типичны также особенно большие поверхностные концентрации пурпурного красителя, поскольку последний формирует изображение зеленой растительности, являющейся в этом фильме основным сюжетным элементом кадров.

Сопоставление негативов, снятых на натуре, с негативами, снятыми в павильоне (рис. 3 и 4), позволяет считать, что при павильонных съемках соблюдается в общем более строгий экспозиционный режим, чем при съемках на натуре, но в то же время против ожидания область недодержек используется почти в такой же мере.

Анализ негативов по наиболее важным сюжетным элементам иллюстрируется далее табл. 3.

Соотношение наиболее вероятных значений поверхностных концентраций всех трех красителей в негативных изображениях лица и зеленой растительности соответствует колориметрическим свойствам этих объектов, т. е. соотношению трех составляющих их цвета. Менее показательными явились результаты денситометрического анализа изображений безоблачного неба: в общей массе они образованы примерно равными поверхностными концентрациями всех трех красителей.

Весьма сходны между собой концентрации всех трех красителей в элементах изображения снега, несмотря на то, что последний далеко не всегда представляется в кадре ахроматичным, а весьма часто имеет явно выраженную голубизну. Обращает на себя внимание, что снег и человеческое лицо воспроизводятся в негативах почти одинаковыми концентрациями пурпурного красителя.

Для изображений костюмов в негативах натуральных кадров типичны малые концентрации всех трех красителей. По-видимому, это обусловлено тем, что в обследованных фильмах преобладают изображения темноокрашенной одежды, монотонной по цвету; кроме того, при недостаточное высвечивание костюмов.

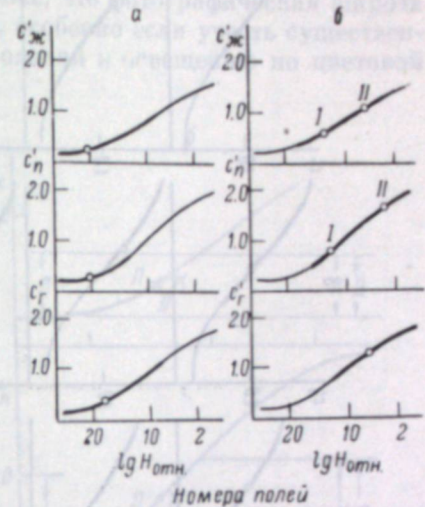


Рис. 2. Участки характеристических кривых элементарных слоев негативной пленки, используемые при формировании полей с минимальной $c'_{\min}$ (а) и максимальной $c'_{\max}$ (б) поверхностными концентрациями. Обозначения I и II — те же, что на рис. 1. Рабочие участки определены для всех 1000 обследованных кионегативов.

съемках часто имеет место не-

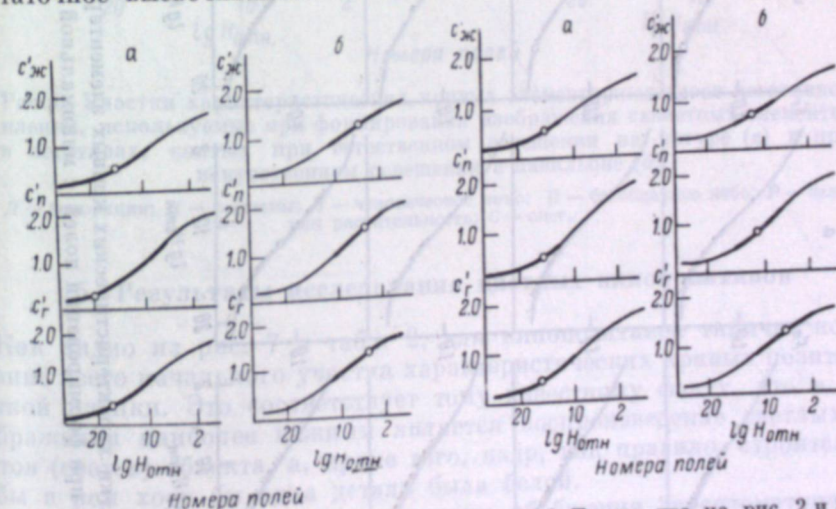


Рис. 3. То же, что на рис. 2, для 700 кионегативов, снятых при естественном освещении на натуре.

Рис. 4. То же, что на рис. 2 и 3, для 300 кионегативов, снятых при искусственном освещении в павильоне.

Анализ производственных кионегативов показывает, что при цветных съемках на натуре и в павильоне используются все участки характе-

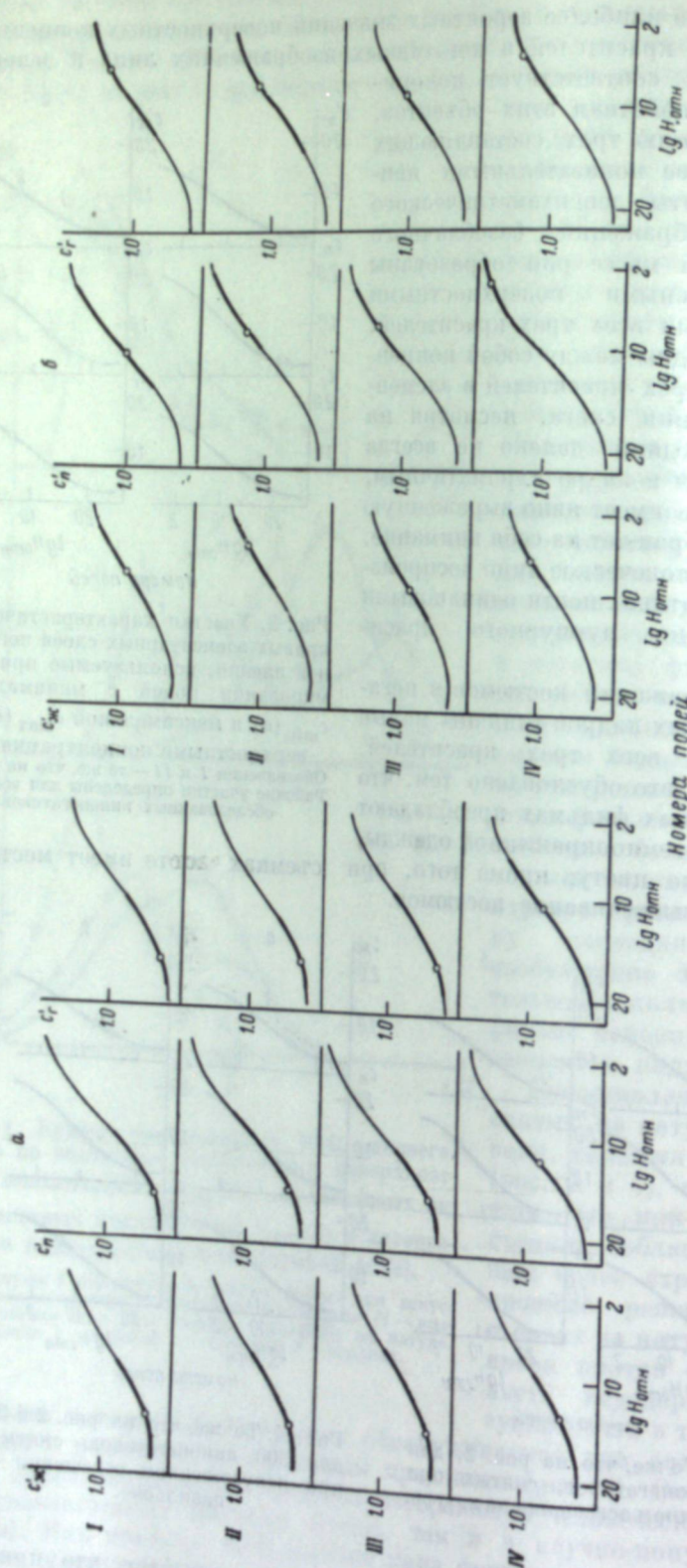


Рис. 5. Участки характеристических кривых элементарных слоев негативной пленки, использованные в негативах четырех фильмов (I—IV) при формировании полей с минимальной $c'_{\min}$ (а) и максимальной $c'_{\max}$ (б) поверхностными концентрациями.

ристических кривых негативной пленки, причем в начальном участке нередко формируется изображение сюжетно важных элементов кадра. Экспозиционный режим при всех видах цветных съемок соблюдается недостаточно строго, особенно это относится к съемкам при естественном освещении на натуре. Представляется также, что фотографическая широта негативных пленок все еще недостаточна, особенно если учесть существенное ее уменьшение при нарушениях требований к освещению по цветовой температуре [5].

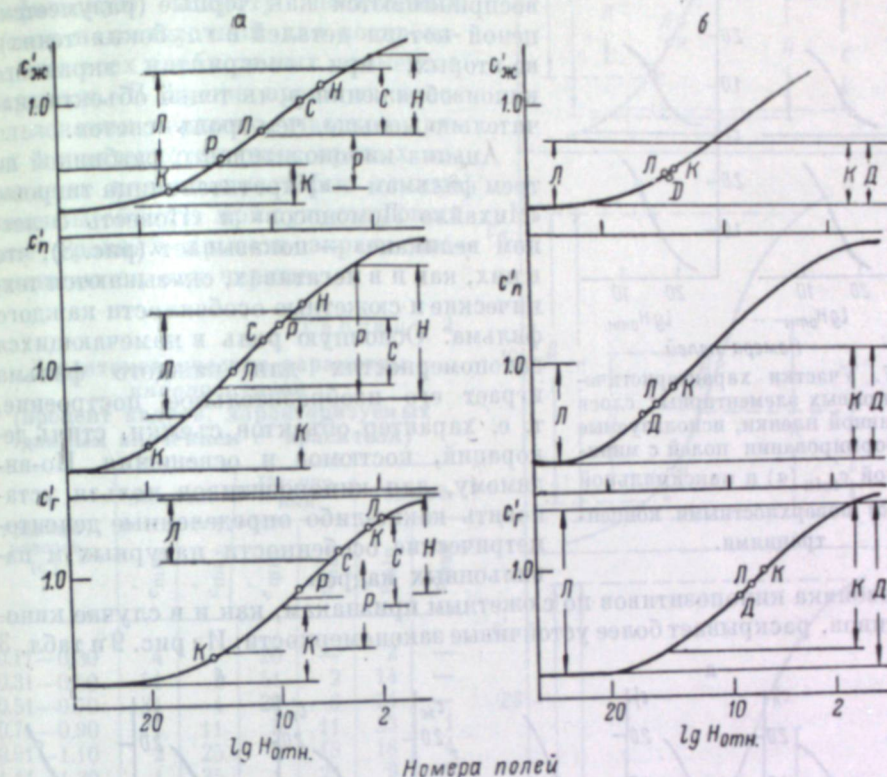


Рис. 6. Участки характеристических кривых элементарных слоев негативной пленки, используемые при формировании изображения сюжетных элементов в негативах, снятых при естественном освещении на натуре (а) и при искусственном освещении в павильоне (б).

Л — декорации; К — костюмы; Л — человеческое лицо; Н — безоблачное небо; Р — зеленая растительность; С — снег.

5. Результаты исследования цветных кинопозитивов

Как видно из рис. 7 и табл. 2, для кинопозитивов типично использование всего начального участка характеристических кривых позитивной пленки. Это соответствует тому известному факту, что в киноцветной пленке наиболее важным является воспроизведение светлых элементов (светов) объекта, а, кроме того, кадр, как правило, строится так, чтобы в нем хотя бы одна деталь была белой.

Как уже сказано, из статистического обобщения денситометрических свойств кинопозитивов выпали черные и близкие к черным элементы изображения. Это лишило нас возможности установить точные значения интервалов поверхностных концентраций красителей в позитивах.

Согласно рис. 7, значения $c'_{\max}$ красителей в позитивах чаще всего соответствуют верхней части прямолинейного участка характеристических кривых позитивных пленок, весь же возможный разброс значений

$c'_{\max}$ приходится на прямолинейный и конечный участки. В кинопозитивах часто используются такие большие концентрации всех трех красителей, которые относятся к верхней трети конечных участков характеристических кривых. Однако это практически едва ли ухудшает цветовоспроизведение, так как, во-первых, особо плотные участки изображений при проекции в обычных условиях воспринимаются как черные (разумеется, ценой потери деталей в глубоких тенях); во-вторых, при восприятии экранного киноизображения роль теней объекта значительно меньше, чем роль светов.

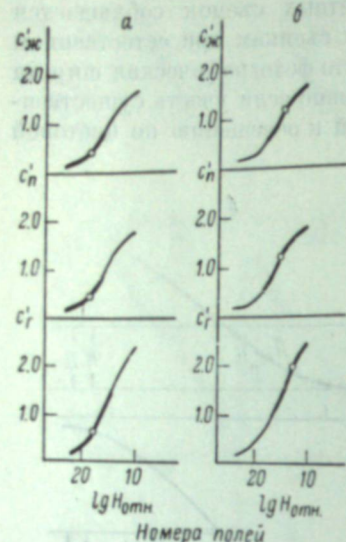


Рис. 7. Участки характеристических кривых элементарных слоев позитивной пленки, используемые при формировании полей с минимальной $c'_{\min}$ (а) и максимальной $c'_{\max}$ (б) поверхностными концентрациями.

Разбивка кинопозитивов по сюжетным признакам, как и в случае кинонегативов, раскрывает более устойчивые закономерности. Из рис. 9 и табл. 3

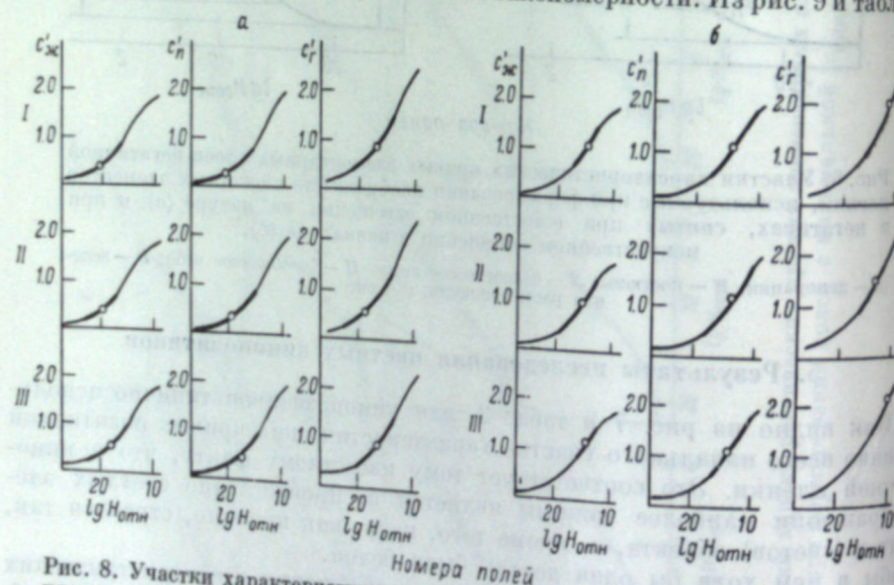


Рис. 8. Участки характеристических кривых элементарных слоев позитивной пленки, использованные в позитивах трех (I—III) фильмов при формировании полей с минимальной $c'_{\min}$ (а) и максимальной $c'_{\max}$ (б) поверхностными концентрациями.

видно, в каких участках характеристических кривых позитивных пленок формируются изображения человеческого лица, костюмов, декораций и т. п.

Обследование кинопозитивов показывает, что при печати цветного фильма, как и в негативном процессе, используются все участки характеристических кривых позитивных пленок, но сюжетно важные элементы изображения обычно воспроизводятся частью прямолинейного участка характеристических кривых. По-видимому, нет оснований считать фотографическую широту позитивных пленок недостаточной для воспроизведения всех необходимых элементов негативов. В то же время из-за использования верхних участков крутых характеристических кривых позитивных пленок некоторые темные элементы объекта при существующих ныне уровнях яркости экрана воспринимаются как черные.

Таблица 2
Денситометрические параметры кинопозитивов (процент кадров, характеризующихся данным значением c' красителя)

Границы классов (c')	Желтый		Пурпурный		Голубой	
	$c'_{\min}$	$c'_{\max}$	$c'_{\min}$	$c'_{\max}$	$c'_{\min}$	$c'_{\max}$
0.11—0.30	4	—	20	—	2	—
0.31—0.50	51	1	51	2	14	—
0.51—0.70	31	4	20	6	24	—
0.71—0.90	11	11	5	11	23	1
0.91—1.10	2	25	3	18	18	4
1.11—1.30	1	35	1	25	9	8
1.31—1.50	—	21	—	20	4	10
1.51—1.70	—	3	—	14	3	12
1.71—1.90	—	—	—	4	2	14
1.91—2.10	—	—	—	—	1	16
2.11—2.30	—	—	—	—	—	16
2.31—2.50	—	—	—	—	—	12
2.51—2.70	—	—	—	—	—	7

Выводы

1. Произведены спектроденситометрические измерения элементов изображения в 1000 негативных и 700 позитивных кинокадрах из производственного материала 24 цветных фильмов, снятых и напечатанных в 1954—1956 гг. на трех киностудиях, и определены поверхностные концентрации красителей, образующих эти изображения.

2. Построены кривые распределения кадров по минимальным и максимальным поверхностным концентрациям и по их интервалам; найдены

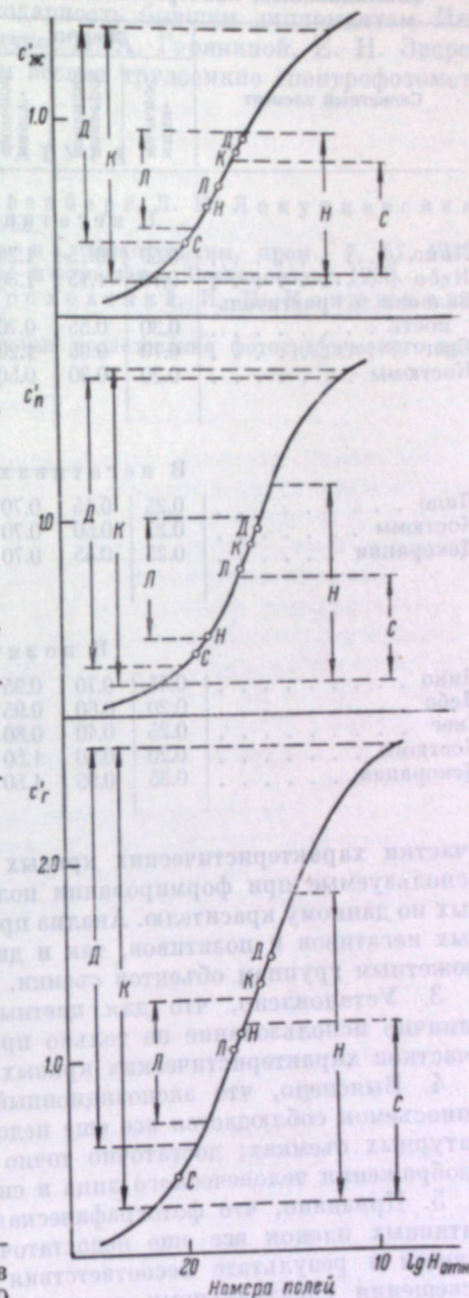


Рис. 9. Участки характеристических кривых элементарных слоев позитивной пленки, используемые при формировании изображения сюжетных элементов в позитивах.

Обозначения те же, что на рис. 6.

Таблица
Денситометрические параметры сюжетных элементов
(минимальные, наименьшие и максимальные значения c' красителей)

Сюжетный элемент	Желтый			Пурпурный			Голубой		
	мини- мальное	наиме- ншее	макс- мальное	мини- мальное	наиме- ншее	макс- мальное	мини- мальное	наиме- ншее	макс- мальное
В негативах натуры									
Лицо	0.50	0.75	1.20	0.60	0.95	1.40	1.10	1.45	1.60
Небо	0.70	1.15	1.30	0.70	1.45	1.70	0.80	1.35	1.60
Зеленая раститель- ность	0.30	0.55	0.70	0.70	1.25	1.70	0.40	0.85	1.10
Снег	0.70	0.95	1.20	0.80	1.15	1.30	0.70	1.15	1.40
Костюмы	0.20	0.30	0.50	0.20	0.35	0.70	0.20	0.35	0.70

В негативах павильона									
Лицо	0.25	0.45	0.70	0.25	0.65	1.00	0.20	0.85	1.50
Костюмы	0.25	0.50	0.70	0.25	0.75	1.10	0.30	0.95	1.50
Декорации	0.25	0.45	0.70	0.25	0.60	1.10	0.20	0.75	1.50

В позитивах									
Лицо	0.45	0.70	0.95	0.40	0.75	1.05	0.65	1.05	1.30
Небо	0.20	0.60	0.95	0.15	0.40	1.20	0.20	1.15	1.85
Снег	0.25	0.40	0.80	0.15	0.35	0.70	0.20	0.40	1.20
Костюмы	0.20	0.90	1.50	0.15	0.90	1.75	0.20	1.40	2.60
Декорации	0.35	0.95	1.50	0.25	1.00	1.70	0.55	1.50	2.60

участки характеристических кривых негативных и позитивных пленок, используемые при формировании полей — самых светлых и самых темных по данному красителю. Анализ проведен как по всей массе обследованных негативов и позитивов, так и дифференцированно по фильмам и по сюжетным группам объектов съемки.

3. Установлено, что для цветных кинонегативов и кинопозитивов типично использование не только прямолинейных, но и криволинейных участков характеристических кривых элементарных слоев пленок.

4. Выяснено, что экспозиционный режим при всех видах цветных киносъемок соблюдается все еще недостаточно строго, в особенности при натурных съемках; достаточно точно выбираются экспозиции лишь для изображения человеческого лица и снега.

5. Признано, что фотографическая ширина современных цветных негативных пленок все еще недостаточна. Практически она часто уменьшается в результате несоответствия спектрального состава съемочного освещения спектральному составу света, для которого производилось балансирование пленки.

6. Фотографическая ширина современных цветных позитивных пленок достаточно для воспроизведения всех сюжетно важных элементов изображения. Однако часто наблюдаемое использование верхних участков характеристических кривых позитивных пленок приводит к тому, что темные элементы экранного изображения воспринимаются либо с искажением цветового тона, либо как черные.

7. Поскольку обследованные в данной работе киноизображения были признаны удовлетворительными по качеству цветовоспроизведения, можно

считать, что градационные искажения практически играют второстепенную роль по сравнению с цветоделительными искажениями.

Авторы приносят большую благодарность бывшим дипломантам Института киноинженеров М. А. Божичко, Н. А. Горяниной, Е. Н. Зверевой и З. А. Ключевой, выполнившим весьма трудоемкие спектрофотометрические измерения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. Б. Варшавская, Т. М. Левенберг, Л. К. Локуциевская, Усп. научн. фотографии, VIII, 172, 1962.
- [2] С. М. Антонов, Е. Н. Гольцева, Кинофотохим. пром., 7, 67, 1937.
- [3] И. Б. Блюмберг. Обработка кино- и фотопленок. Госкиноиздат, 1950.
- [4] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Усп. научн. фотографии, V, 127, 1957.
- [5] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса, гл. VII. Физматгиз, 1960.

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ, К. Б. ПОПОВА

**ЗАВИСИМОСТЬ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦВЕТОВ
ОТ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СЛОЕВ НЕГАТИВНЫХ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК**

1. Введение

Получение цветного фотографического изображения на многослойных материалах предполагает, как известно [1, гл. 1], что и в негативной, и в позитивной стадиях происходят следующие три взаимосвязанных процесса: цветоделение, переходный (градиационный) процесс и синтез цвета. Далее рассматривается первый из этих процессов.

Спектральным требованиям к цветоделению посвящен ряд расчетных и экспериментальных исследований, выполненных применительно к различным способам цветной репродукции, как аддитивным, так и субтрактивным. Однако ни одно из них не относилось к цветной фотографии на многослойных материалах, характеризующейся некоторыми особенностями, в частности наличием двукратного (в негативной и позитивной стадиях) цветоделения.

Характер цветоделения определяется соотношением трех значений фотоактивных потоков (фотоактивностей), характеризующих фотохимическое действие излучения, идущего от объекта фотографирования, на каждый элементарный слой многослойного материала:

$$A^{(c)} = \int E_{\lambda} S_{\lambda}^{(c)} d\lambda, \quad A^{(g)} = \int E_{\lambda} S_{\lambda}^{(g)} d\lambda, \quad A^{(k)} = \int E_{\lambda} S_{\lambda}^{(k)} d\lambda,$$

где E_{λ} — монохроматическая освещенность в плоскости экспонируемого фотографического материала, а $S_{\lambda}^{(c)}$, $S_{\lambda}^{(g)}$ и $S_{\lambda}^{(k)}$ — спектральные чувствительности сине-, зелено- и красочувствительного слоев. Величинами $A^{(c)}$, $A^{(g)}$ и $A^{(k)}$ в свою очередь определяют, соответственно характеру переходного процесса (форма характеристических кривых), поверхностные концентрации трех красителей, образующихся в негативе. Таким образом, все многообразие цветов объекта на негативной стадии процесса сводится к различным соотношениям этих трех величин. Различие кривых спектрального состава излучений, идущих от объекта, определяет цветоделение, а следовательно, и конечный результат цветофотографического процесса, только в той степени, в какой оно дает различные соотношения величин A .

Согласно данным экспериментального исследования Спенсера [2], в условиях пигментного цветного процесса наибольшая насыщенность цветов в изображении достигается тогда, когда спектральные кривые фотоактивного потока $A_{\lambda} = E_{\lambda} S_{\lambda} = f(\lambda)$ трех черно-белых негативных материалов, служащих для цветоделения, не накладываются в спектре друг на друга (не перекрываются). Недостатки цветовоспроизведения,

по данным этого автора, в большей степени определяются недостатками спектральных кривых поглощения красителей (пигментов), образующих цветное изображение, чем спектральным распределением фотографического действия у негативных материалов, на которых осуществлялось цветоделение.

Н. Д. Ньюберг, Н. В. Лобанова и В. Г. Рудаков в исследовании, выполненном в 1939 г. [1, стр. 89—91, 97—99], изучали качество цветовос-

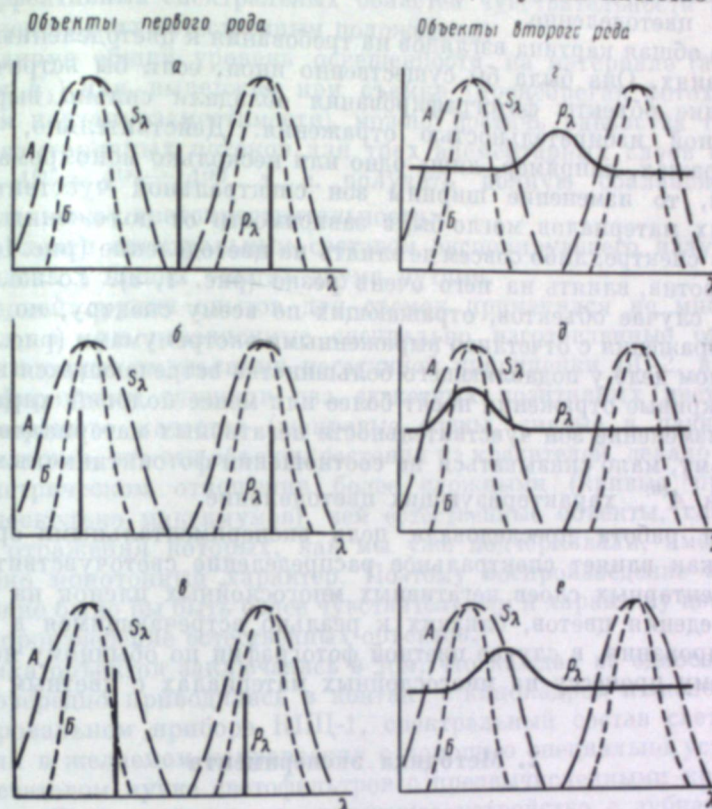


Рис. 1. Схема цветоделения при съемке объектов двух родов с сильно выраженной спектральной избирательностью отражения на двух многослойных негативных материалах (А и В), соответственно с малой и большой шириной спектральных зон чувствительности. Для простоты приведены попарно кривые лишь двух слоев.

а и б — объекты воспроизводятся обоими материалами одинаково плохо;
б и в — объекты воспроизводятся обоими материалами одинаково хорошо;
в и г — каждый из объектов воспроизводится двумя материалами существенно различно.

произведения на гидротипных изображениях в условиях получения цветоделенных негативов с разными триадами съемочных светофильтров. Они пришли к заключению, что достаточно значительное изменение ширины спектральных зон фотографического действия у трех негативных материалов мало влияет на цветовоспроизведение, если не имеет места существенное перекрывание этих зон.

К аналогичным выводам в случае цветных полиграфических изображений пришел Н. И. Синяков [3].

Расчеты В. Шульце [4] показали, что в условиях субтрактивного синтеза цветов с помощью красителей процесса «Агфаколор» изменение ширины спектральных зон чувствительности трех негативных материалов в пределах от 10 до 90 мкм не оказывает сколько-нибудь систематического

влияния на характер воспроизведения насыщенных по цвету красок из атласа цветов Баумана.

Наконец, Р. М. Иванс, В. Т. Хансон и В. Л. Брюэр [5] расчетным путем, ограничившись изучением лишь негативной стадии процесса цветной репродукции, показали, что сужение сильно перекрывающихся спектральных областей чувствительности негативных материалов и удаление этих областей друг от друга по спектру систематически улучшают результирующее цветоделение.

Такова общая картина взглядов на требования к цветоделению в реальных условиях. Она была бы существенно иной, если бы встречающиеся на практике объекты фотографирования обладали сильно выраженной спектральной избирательностью отражения. Действительно, если бы объект отражал, например, лишь одно или несколько монохроматических излучений, то изменение ширины зон спектральной чувствительности негативных материалов могло бы, в зависимости от положения этих излучений в спектре, либо совсем не влиять на цветоделение (рис. 1, а, б и в), либо, напротив, влиять на него очень резко (рис. 1, г). То же имело бы место и в случае объектов, отражающих по всему спектру, но имеющих кривую отражения с отчетливо выраженными экстремумами (рис. 1, з и д).

На самом деле у подавляющего большинства встречающихся в природе объектов кривые отражения носят более или менее пологий характер [6]. Поэтому изменение зон чувствительности негативных материалов должно, по-видимому, мало сказываться на соотношении фотоактивных потоков $A^{(c)}$, $A^{(a)}$ и $A^{(k)}$, характеризующих цветоделение.

Данная работа преследовала цель экспериментальными средствами изучить, как влияет спектральное распределение светочувствительности трех элементарных слоев негативных многослойных пленок на характер воспроизведения цветов, близких к реально встречающимся в объектах фотографирования, в случае цветной фотографии по обычному негатив-позитивному процессу на многослойных материалах с цветным проявлением.

2. Методика эксперимента

Осуществление многослойных цветофотографических материалов с заданным положением в спектре областей сенсibilизации отдельных элементарных слоев весьма затруднительно. Поэтому мы прибегли к имитации желаемых спектрально-фотографических свойств негативного материала. Истинное спектральное распределение чувствительности последнего оставалось в наших опытах неизменным, изменялся же спектральный состав света, освещающего объект фотографирования. Законность такой подмены вытекает из взаимозаместимости величин спектральной чувствительности материала S_λ и монохроматической освещенности E_λ в приведенном выше уравнении фотоактивного потока, отвечающего условию соблюдения фотографическим материалом правила аддитивности фотографического действия спектрально различных излучений. Выполнимость этого правила с практически достаточной точностью для оптических многослойных материалов была установлена Ю. Н. Горюховским и И. Н. Конюшковой [7]. Данный прием позволял управлять эффективным спектральным распределением чувствительности многослойного материала при сохранении неизменными остальных сенситометрических (градиационных) свойств материала — формы характеристических кривых, степени сбалансированности слоев и т. д.

Изменение спектрального распределения энергии в излучении заключалось в частичном или полном устранении из исходного сложного излучения некоторой части его монохроматических составляющих. Если устраи-

вать составляющие, отвечающие ниспадающим ветвям кривых спектральной чувствительности элементарных слоев многослойного материала, то будет происходить сужение эффективных спектральных областей чувствительности этих слоев. Если же в сложном излучении в той или иной мере уменьшать содержание монохроматических составляющих, которые соответствуют зоне максимальных значений спектральной чувствительности элементарных слоев, то будет происходить расширение эффективных спектральных областей чувствительности этих слоев по сравнению с их естественным положением.

Регулируя общий уровень освещенности на материале (абсолютные значения E_λ) или выдержку при съемке (пренебрегая фотохимическим явлением невзаимозаместимости), можно достичь равенства трех значений фотоактивных потоков для трех элементарных слоев негативной пленки $A^{(c)} = A^{(a)} = A^{(k)}$, т. е. получить полную сбалансированность слоев пленки по светочувствительности.

Управление спектральным составом экспонирующего излучения осуществлялось в наших опытах двумя путями.

В первой группе опытов для съемок применялся не многослойный материал, а три независимые специально изготовленные однослойные пленки, политые эмульсиями негативной кинопленки ДС-2, а объектами фотографирования служили два сюжетных позитивных цветных кинокадра хорошего качества (жанровые сцены, снятые в павильоне). То обстоятельство, что эти объекты состояли из красителей, делало их в спектротометрическом отношении более сложными (кривые пропускания имели несколько максимумов), чем естественные объекты, спектральные кривые отражения которых, как мы уже подчеркивали, имеют преимущественно монотонный характер. Поэтому воспроизведение этих объектов должно было бы быть более чувствительным к характеру цветоделения, чем воспроизведение естественных объектов.

Съемка объектов заключалась в том, что каждая из однослойных пленок поочередно приводилась в контакт с кинокадром и экспонировалась в копировальном приборе КПЦ-1, спектральный состав света которого изменяли в желаемом направлении с помощью специально устанавливаемых в световом пучке светофильтров с предвычисленными кривыми пропускания. Специальное контактирующее устройство с зубцами (рис. 2) позволяло получать три цветоделенных красочных относительно перфорационных отверстий. При получении негативов вместе с кинокадром впечатывался серый ступенчатый клин, красочные изображения которого служили для отбора изображений, отвечавших одинаковой во всех опытах степени сбалансированности трех негативных слоев по светочувствительности. Полученные однокрасочные негативы совмещались и одновременно печатались в копировальном аппарате КПЦ-1 на позитивную цветную пленку ЦП-1 до достижения наилучшего для всего изображения цвето-воспроизведения. Хорошее совмещение трех элементарных (однокрасочных) изображений, получавшихся на позитиве, достигалось использованием при печати того же контактирующего устройства.

Этим методом удавалось изменять ширину спектрального диапазона эффективной чувствительности элементарных слоев $\Delta\lambda$ как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

Совокупность отдельно политых негативных слоев, отдельно экспонированных и красочувствительного многослойного стеклянными светочувствительными за соответствующими многокомпонентными светочувствительными фильтрами (см. таблицу), имитировала пять типов негативных многослойных материалов с различным спектральным распределением светочувствительности.

Строение стеклянных светофильтров, служивших для макетирования негативных цветных пленок с различным спектральным распределением чувствительности

Слой	Тип сенсibilизации									
	I		II		III		IV		V	
	марка стекла	толщина (мм)	марка стекла	толщина (мм)	марка стекла	толщина (мм)	марка стекла	толщина (мм)	марка стекла	толщина (мм)
Синечувствительный	ФС1	3.0	ФС1	3.0	—	—	—	—	—	—
	ЖС16	3.0	—	—	—	—	—	—	—	—
Зеленочувствительный	СЗС12	2.0	СЗС12	0.5	СЗС12	0.5	ЖС12	3.0	ЖС16	3.0
	ОС12	10	ЖС17	1.0	ЖС17	1.0	ПС11	0.5	ПС11	1.0
Красночувствительный	КС17	8.0	КС13	0.7	ОС12	10	ЖС18	5.0	ЖС18	5.0
	—	—	—	—	—	—	СС5	0.5	СС5	0.5
	—	—	—	—	—	—	—	—	СЗС10	0.5

Примечание. Марки стекла и номинальные толщины стеклянных пластинок даны в Каталогу цветного стекла, 106 (М., 1951).

Кривые фотоактивных потоков для каждого из слоев всех пяти типов негативных материалов при цветовой температуре источника света 2850° К, приведенные к равным площадям под этими кривыми,



Рис. 2. Внешний вид контактирующего устройства, применявшегося в первой группе опытов, и светофильтров к нему.

В пленке типа III распределение фотоактивного потока близко к такому у кинонегативной пленки ДС-2 [8], выпускаемой промышленностью. У пленок типов IV и V перекрытие зон чувствительности.

Окончательные позитивные изображения, полученные по этому методу, представляли собой пленочные диапозитивы того же формата, что и кинокадры, служившие объектами фотографирования. Это было очень удобно для сопоставления их между собой. Те и другие сравнивались на просмотрном ящике с люминесцентными лампами дневного света при освещенности около 2000 лк.

Во второй группе опытов использовался непосредственно многослойный негативный материал — кинопленка ДС-2. Для экспонирования применялась специальная установка, изображенная на рис. 4. Ее основной

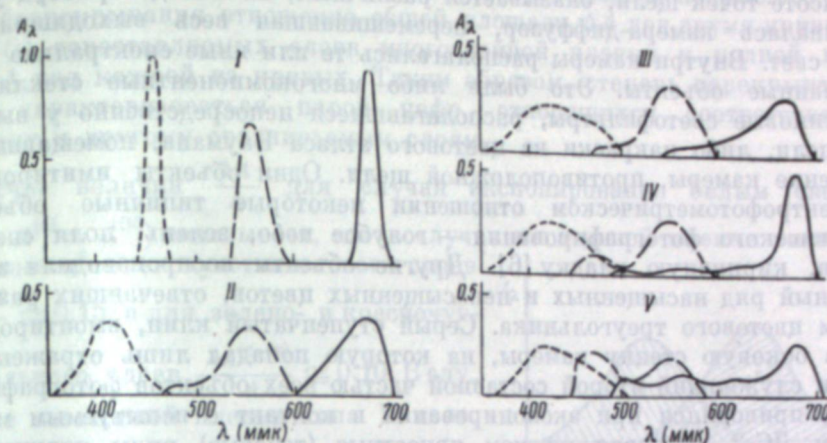


Рис. 3. Спектральные кривые фотоактивных потоков для пяти (I—V) идеально сбалансированных негативных материалов, имитировавшихся в первой группе опытов.

частью служил двойной монохроматор-интегратор [9], представляющий собой светосильный спектральный прибор с противоположной дисперсией

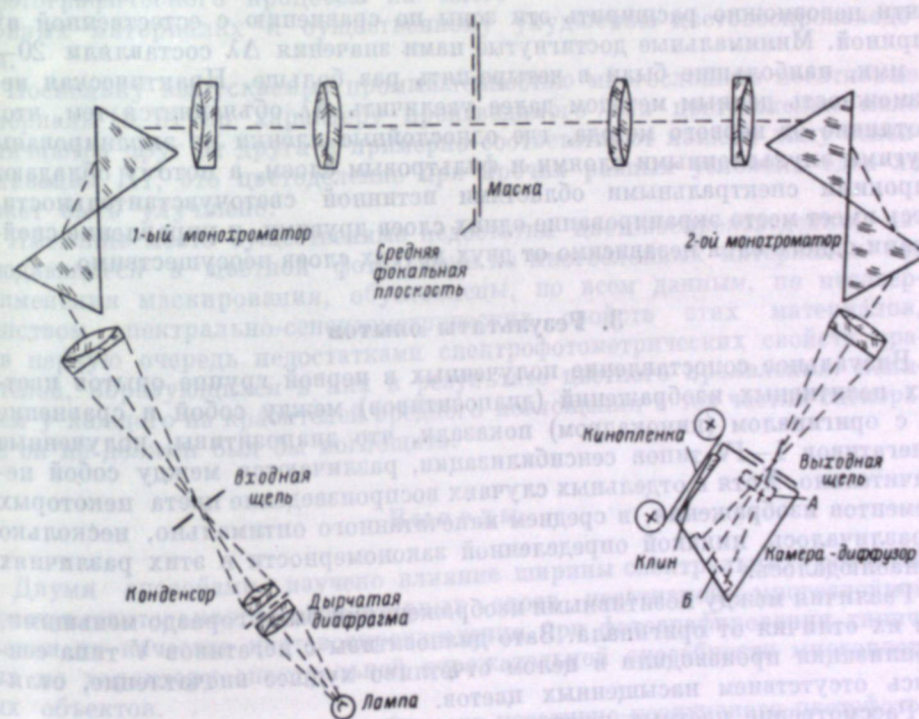


Рис. 4. Схема фотографической установки с двойным монохроматором-интегратором.

Сменные элементы: дырчатые диафрагмы в конденсоре; маски в средней фокальной плоскости; светофильтры (А) или краски (Б) в камере-диффузоре.

двух его частей [10]. Путем установки в средней фокальной плоскости двух его частей [10]. Путем установки в средней фокальной плоскости прибора прямоугольных или пологих фигурных диафрагм (масок) уда-

валось изменять по заданному закону спектральный состав света, выходящего из выходной щели и освещающего объект фотографирования. Поскольку при этом спектральный состав света, выходящего из щели по высоте точек щели, оказывается различным, на выходе прибора устанавливалась камера-диффузор, перемешивавшая весь выходящий из щели свет. Внутри камеры располагались те или иные спектрально нормированные объекты. Это были либо многокомпонентные стеклянно-желатиновые светофильтры, располагавшиеся непосредственно у выходной щели, либо накраски из цветового атласа Баумана, помещавшиеся на стенке камеры, противоположной щели. Одни объекты имитировали в спектрофотометрическом отношении некоторые типичные объекты практического фотографирования — голубое небо, зелень, поля спелых злаков, кирпичную кладку [6]. Другие объекты воспроизводили закономерный ряд насыщенных и ненасыщенных цветов, отвечавших разным частям цветового треугольника. Серый ступенчатый клин, вмонтированный в боковую стенку камеры, на которую попадал лишь отраженный свет, и служивший второй составной частью всех объектов фотографирования, приводился при экспонировании в контакт с испытуемым материалом ДС-2, создавая на нем яркостные (теневые) ряды излучений. Полученные таким образом негативы печатались в копировальном приборе КПЦ-1 на позитивной цветной пленке ЦП-1 до достижения наилучшего цветовоспроизведения для каждого из объектов (цветов). Диапозитивы рассматривались так же, как и в предыдущей группе опытов.

Этим вторым методом можно легко уменьшить ширину спектральных зон эффективной чувствительности элементарных слоев $\Delta\lambda$. Однако им почти невозможно расширить эти зоны по сравнению с естественной их шириной. Минимальные достигнутые нами значения $\Delta\lambda$ составляли 20–25 мкм, наибольшие были в четыре-пять раз больше. Практическая невозможность данным методом далее увеличить $\Delta\lambda$ объясняется тем, что, в отличие от первого метода, где однослойные пленки не экранированы другими эмульсионными слоями и фильтровым слоем, а потому обладают широкими спектральными областями истинной светочувствительности, здесь имеет место экранирование одних слоев другими, и управление свойствами одного слоя независимо от двух других слоев неосуществимо.

3. Результаты опытов

Визуальное сопоставление полученных в первой группе опытов цветных позитивных изображений (диапозитивов) между собой и сравнение их с оригиналом (кинокадром) показали, что диапозитивы, полученные с негативов I–IV типов сенсibilизации, различаются между собой незначительно. Хотя в отдельных случаях воспроизведение цвета некоторых элементов изображения, в среднем напечатанного оптимально, несколько и различалось, никакой определенной закономерности в этих различиях не наблюдалось.

Различия между позитивными изображениями были гораздо меньшими, чем их отличия от оригинала. Зато диапозитивы с негативов V типа сенсibilизации производили в целом отчетливо худшее впечатление, отличающееся отсутствием насыщенных цветов.

Рассмотрение цветных позитивных изображений второй группы опытов, выполненных непосредственно на многослойной негативной пленке, не позволило обнаружить какого-либо систематического уменьшения качества изображения с изменением спектрального диапазона $\Delta\lambda$. Если учесть, что в этих опытах, как указывалось выше, не удалось сделать диапазон $\Delta\lambda$ большим того, каков он в естественных условиях, то результат оказывается совпадающим с результатами первой группы опытов.

Проанализируем полученные нами результаты с точки зрения степени взаимного наложения (перекрывания) спектральных областей светочувствительности элементарных слоев негативного материала. Условимся называть в соответствии со схемой, приведенной на рис. 5, степенью перекрывания отношение общей площади ΔA под двумя кривыми $A_\lambda = f(\lambda)$ сопоставляемых слоев многослойной пленки к полной площади A под каждой из кривых. Таким образом, степень перекрывания будет характеризоваться парой цифр, относящихся соответственно к одному и другому сравниваемым слоям.

Расчет величин $\frac{\Delta A}{A}$ для случая экспонирования белым светом ($A^{(c)} = A^{(a)} = A^{(k)}$) показывает, что в случае негативной пленки типа IV для сине- и зеленочувствительного слоев

$$\frac{\Delta A^{(c-s)}}{A} \cong 0.15, \text{ а для зелено- и красночувствительного слоев } \frac{\Delta A^{(a-k)}}{A} \cong 0.10.$$

В случае же негативной пленки типа V соответственно $\frac{\Delta A^{(c-s)}}{A} \cong 0.25$ и $\frac{\Delta A^{(a-k)}}{A} \cong 0.35$.

Таким образом, лишь перекрывание областей сенсibilизации, превышающее для белого света примерно 20%, приводит при прочих равных условиях проведения цветного фотографического процесса на многослойных материалах к существенному ухудшению цветовоспроизведения.

Поскольку выпускаемые промышленностью многослойные негативные материалы [8, 9] по характеру производимого ими цветоразделения мало отличаются друг от друга и примерно соответствуют нашему типу сенсibilизации III, это цветоразделение при прочих равных условиях едва ли может быть улучшено.

Имеющие место существенные недостатки цветовоспроизведения, наблюдающиеся в цветной фотографии на многослойных материалах без применения маскирования, обусловлены, по всем данным, не совершенством спектрально-сенситометрических свойств этих материалов, а в первую очередь недостатками спектрофотометрических свойств красителей, образующихся в них в результате цветного проявления: наличием у каждого из красителей вредного поглощения в тех частях спектра, где он не должен был бы поглощать.

Выводы

Двумя способами изучено влияние ширины спектральных областей светочувствительности элементарных слоев негативной многослойной пленки на качество цветовоспроизведения при фотографировании типичных по характеру спектральной отражательной способности многоцветных объектов.

Показано, что в условиях обычного красителя со значительным паразитным поглощением, изменение в больших пределах ширины областей светочувствительности слоев практически не сказывается на качестве воспроизведения всей совокупности цветов объекта, хотя для отдельных элементов объекта и имеют место некоторые колебания цветности. Лишь при очень широких зонах чувствительности, когда степень их взаимного



Рис. 5. Схема количественной оценки степени перекрывания спектральных областей светочувствительности элементарных слоев многослойного материала.

наложения достигает 20% и более, наблюдается существенное ухудшение фотографического воспроизведения большинства цветов.

Таким образом, в условиях нормального цветофотографического процесса на многослойных материалах подтверждается положение, высказанное для других процессов цветной репродукции, что качество цветовоспроизведения определяется в гораздо большей мере спектральными свойствами образующихся красителей, чем спектральным распределением светочувствительности триады негативных материалов, используемых для цветоделения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. Д. Нюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Сов. наука», 1948.
- [2] D. A. Spencer, Phot. Journ., 75, 377—386, 1935; 78, 474—482, 1938.
- [3] Н. И. Синяков. Светофильтры для трехцветной репродукции. Харьков, 1948.
- [4] W. Schultze, Wiss. Veröff. Agfa, 7, 64—108, 1951.
- [5] R. M. Evans, W. T. Hanson, jr., W. L. Brewster. Principles of color photography, N. Y.—London, 1953.
- [6] Е. Л. Кринов. Спектральная отражательная способность природных образований. Изд. АН СССР, М.—Л., 1947.
- [7] Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Докл. АН СССР, № 469—472, 1955.
- [8] Свойства фотографических материалов на прозрачной подложке (Сенситометрический справочник), под ред. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилёва, Гостехиздат, М., 1955.
- [9] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса, гл. 1. Физматгиз, 1960.
- [10] А. С. Топорев, Усп. физ. наук, 40, 255—300, 1950.

Н. С. ОВЕЧКИС, Л. Ф. АРТЮШИН, М. И. ГЕРАСИМОВИЧ

ЗОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ТРЕХЦВЕТНЫХ КООРДИНАТ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

Оценка цветовоспроизведения в любом цветофотографическом процессе требует сравнения цветовых характеристик объекта съемки и позитивного изображения.

Для этой цели цвета фотографируемого объекта и его позитивного изображения должны быть выражены в одних и тех же величинах, например в международных координатах X, Y, Z или в характеристиках цветового тона, чистоты и светлоты. Характеристика цвета колориметрическими параметрами наглядно показывает, как искажаются цвета в результате фотографического воспроизведения. Однако колориметрическая характеристика цветов фотографического изображения является очень трудоемкой и, кроме того, не позволяет связать цветовоспроизведение с изменяющимися технологическими факторами фотографического процесса.

В связи с этим оценка применяемых кинофотоматериалов и процессов их обработки производится сенситометрическими характеристиками, определяемыми путем широко известных градационных и цветоделительных испытаний.

По специальным уравнениям для каждого конкретного цветофотографического процесса можно рассчитать, какими количествами позитивных красителей воспроизведется в изображении тот или иной цвет объекта. Для этого необходимо цвета объекта выразить в субтрактивных координатах, т. е. величинами поверхностных концентраций позитивных красителей, составляющих комбинацию, визуально неотличимую по цвету от той или иной детали объекта.

Сравнение субтрактивных координат позволяет оценить точность цветовоспроизведения в каждом конкретном исследуемом процессе в виде недостатка или избытка каждого из трех красителей синтеза.

Однако сравнение цветофотографических процессов с различающимися между собой триадами позитивных красителей не может быть проведено в субтрактивных координатах, а поэтому возникает необходимость разработки методики, которая бы позволяла сравнивать различные цветофотографические процессы в единой колориметрической системе. Применение для этой цели международной системы цветовых измерений связано, как уже указывалось, с трудоемким процессом определения колориметрических параметров фотографируемого объекта и позитивных изображений, что делает его неприемлемым даже в условиях исследовательской работы.

Исследование зависимости колориметрических характеристик для различных триад позитивных красителей [1], а также исследование цветовоспроизведения с помощью цветоделительных испытаний позволили разработать метод, пригодный для сравнения различных субтрактивных цветофотографических процессов, отличающихся триадами позитивных краси-

телей. Этот метод позволяет, кроме того, без больших затруднений перейти от обычно определяемых сенситометрических параметров процесса к характеристике процесса в колориметрических величинах.

В основу этого метода была положена разработанная Н. С. Овечкиной зональная система трехцветных координат [2-4]. Эта система может рассматриваться как субтрактивная система для оптимальных красителей. Зональная плотность в этом случае выражает количество оптимального красителя. С другой стороны, зональные коэффициенты пропускания представляют собой аддитивные координаты, которые линейно связаны с международными координатами цвета.

Зональная система трехцветных координат основана на схематизации кривых светопоглощения и приведения их к оптимальному типу. Основные цвета системы определяются белым светом, пропущенным через три оптимальных светофильтра, разделяющих видимый участок спектра на три зоны: синюю, зеленую, красную. За синюю зону принят цвет, полученный из суммы спектральных излучений с длинами волн от 400 до 490 мкм, за зеленую — от 490 до 570 мкм, за красную — от 570 до 700 мкм.

Исходя из этого, сложный свет, действующий на глаз, представляет смесь синего, зеленого и красного и получается смешением их. Белый свет можно считать полученным из одинаковых количеств трех спектральных зон. Цвет любого объекта будет определяться соотношением количеств синего, зеленого и красного света, которые отражаются или пропускаются этим объектом.

Координаты цвета по международной системе X , Y , Z и зональные коэффициенты пропускания или отражения T_c , T_z , T_k связаны линейными уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} T_c &= 0.103X' - 0.172Y' + 1.258Z', \\ T_z &= -1.336X' + 2.233Y' + 0.103Z', \\ T_k &= 1.945X' - 0.667Y' - 0.301Z'. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} X' &= 0.138T_c + 0.203T_z + 0.647T_k \\ Y' &= 0.046T_c + 0.567T_z + 0.387T_k \\ Z' &= 0.790T_c + 0.061T_z + 0.007T_k \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Переход от субтрактивных координат к колориметрическим может быть осуществлен путем пересчета величин поверхностных концентраций в зональные плотности по линейным уравнениям. Коэффициенты этих уравнений определялись для красителей, образующихся в светочувствительных слоях типовой позитивной пленки. Для этой цели по спектрофотометрическим данным рассчитывались сначала международные координаты X , Y , Z для различных комбинаций позитивных красителей, а затем по уравнениям (1) определялись зональные коэффициенты пропускания T_c , T_z , T_k . По зональным коэффициентам пропускания находились зональные плотности и строились графики. По одному из графиков определялась зависимость зональных плотностей от изменения поверхностных концентраций желтого красителя при неизменных количествах двух других красителей — пурпурного и голубого. По двум другим графикам определялись аналогичные зависимости для пурпурного и голубого красителей.

По полученным данным установлено, что зависимость зональных плотностей этих красителей от поверхностных концентраций в интервале аддитивности, равном для желтого 0.85, для пурпурного 1.00 и для голубого 1.30, выражается следующей системой линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} D_c &= 1.04c_{460}^{ж} + 0.40c_{520}^{п} + 0.03c_{650}^{г}, \\ D_z &= 0.10c_{460}^{ж} + 1.00c_{520}^{п} + 0.16c_{650}^{г}, \\ D_k &= 0.00c_{460}^{ж} + 0.32c_{520}^{п} + 0.83c_{650}^{г}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решая эту систему относительно $c_{460}^{ж}$, $c_{520}^{п}$, $c_{650}^{г}$, можно найти уравнения для расчета поверхностных концентраций по зональным плотностям:

$$\left. \begin{aligned} c_{460}^{ж} &= 1.00D_c - 0.41D_z + 0.04D_k, \\ c_{520}^{п} &= -0.10D_c + 1.11D_z - 0.21D_k, \\ c_{650}^{г} &= 0.04D_c - 0.43D_z + 1.29D_k. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

На основании этих уравнений, если зональные плотности принять равными единице, устанавливается связь между единицами ВЭСП и монохроматическими плотностями, которая выражается следующими равенствами:

$$c_{460}^{ж} = 0.63c_{ж}, \quad c_{520}^{п} = 0.80c_{п}, \quad c_{650}^{г} = 0.90c_{г}. \quad (5)$$

Обозначая в уравнениях (3) и (4) поверхностные концентрации красителей в единицах ВЭСП, получаем:

$$\left. \begin{aligned} D_c &= 0.65c_{ж}^{ж} + 0.32c_{п}^{п} + 0.03c_{г}^{г}, \\ D_z &= 0.06c_{ж}^{ж} + 0.80c_{п}^{п} + 0.14c_{г}^{г}, \\ D_k &= 0.00c_{ж}^{ж} + 0.25c_{п}^{п} + 0.75c_{г}^{г}. \end{aligned} \right\} \quad (3')$$

$$\left. \begin{aligned} c_{ж}^{ж} &= 1.59D_c - 0.65D_z + 0.06D_k, \\ c_{п}^{п} &= -0.13D_c + 1.39D_z - 0.26D_k, \\ c_{г}^{г} &= 0.04D_c - 0.47D_z + 1.43D_k. \end{aligned} \right\} \quad (4')$$

Определение зональных плотностей можно проводить непосредственно по результатам измерений цветных образцов на денситометре с тремя светофильтрами или на спектрофотометре в трех длинах волн.

Совместное решение трех уравнений, выражающих послойные концентрации $c_{460}^{ж}$, $c_{520}^{п}$, $c_{650}^{г}$ через суммарные измерения цветных образцов на спектрофотометре D_{460} , D_{520} , D_{650} , позволяет получить формулу, пригодную для расчета зональных плотностей по данным измерений на спектрофотометре (D_{460} , D_{520} , D_{650}):

$$\left. \begin{aligned} D_c &= 1.04D_{460} - 0.01D_{520}, \\ D_z &= 0.10D_{460} + 1.03D_{520} + 0.05D_{650}, \\ D_k &= -0.04D_{460} - 0.23D_{520} + 0.81D_{650}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Коэффициенты линейных уравнений для расчета зональных плотностей по измерениям на денситометре должны быть определены в каждом случае соответственно градуировке денситометра.

Для колориметрического сравнения фотографических процессов, во-первых, были определены удельные зональные плотности позитивных красителей, составляющих различные триады, во-вторых, были найдены сквозные цветоделительные характеристики сравниваемых процессов.

Удельные зональные плотности для триад позитивных красителей двух типов многослойной позитивной пленки (ЦП-2 и ЦП-7) и для триады красителей гидротипного процесса приведены в табл. 1.

Таблица 1

Удельные зональные плотности позитивных красителей

Красители многослойной пленки	Единицы ВЭСП	Удельные зональные плотности		
		жел-тая	пур-пур-ная	голу-бая
Желтый	$c_{460}^{\text{ж}} = 0.63$	0.65	0.32	0.03
Пурпурный I	$c_{520}^{\text{п}} = 0.80$	0.06	0.80	0.14
Голубой	$c_{650}^{\text{г}} = 0.90$	0.00	0.25	0.75
Желтый	$c_{460}^{\text{ж}} = 0.79$	0.82	0.15	0.03
Пурпурный II	$c_{520}^{\text{п}} = 0.67$	0.08	0.76	0.16
Голубой	$c_{650}^{\text{г}} = 1.00$	0.00	0.17	0.83
Гидротипная триада . . .	$c_{460}^{\text{ж}} = 0.64$	0.64	0.27	0.09
	$c_{520}^{\text{п}} = 0.64$	0.06	0.70	0.24
	$c_{650}^{\text{г}} = 0.13$	0.00	0.19	0.81

Определение сквозных цветоделительных характеристик проводилось для негативно-позитивных процессов на пленках: 1) ДС-2 — ЦП-2; 2) ЛН-3 — ЦП-2; 3) ДС-2 — гидротипный позитив; 4) для процесса с контрастированием на пленке КП-4 с негатива на пленке ДС-2 и позитивным процессом на пленке ЦП-7.

Для определения сквозных цветоделительных характеристик сравниваемых процессов на цветных негативных пленках ДС-2 и ЛН-3 печатались тест, состоящий из серого и цветных клиньев. Цветные клинья представляли собой комбинации, составленные из позитивных красителей; обработка производилась по режиму, рекомендованному для этих пленок.

С полученных негативов были отпечатаны цветные позитивы. Экспозиционные условия подбирались так, чтобы изображение серой шкалы оригинала было возможно более сбалансированным. Перед измерением все позитивы отбеливались до полного удаления серебра из изображения.

Негатив, полученный на пленке ДС-2, использовался также для изготовления контратипа на дубль-негативной пленке с маской в слое. С этого контратипа также был получен цветной позитив на пленке ЦП-7.

Полученные изображения измерялись на цветном денситометре ЦД-4, по результатам измерений производился расчет поверхностных концентраций красителей, образовавшихся на изображениях серой и цветной шкал. Затем строились кривые воспроизведения серой шкалы оригинала и по обычной методике цветоделительных испытаний определялись сквозные цветоделительные характеристики (σ_{ij}) для каждого из процессов.

По сквозным цветоделительным характеристикам [5] составляются три линейных уравнения, показывающие, какими количествами красителей воспроизводятся на позитивной копии цвета объекта [6]:

$$\left. \begin{aligned} c_{\text{поз}}^{\text{ж}} &= \sigma_{11} c_0^{\text{ж}} + \sigma_{12} c_0^{\text{п}} + \sigma_{13} c_0^{\text{г}} \\ c_{\text{поз}}^{\text{п}} &= \sigma_{21} c_0^{\text{ж}} + \sigma_{22} c_0^{\text{п}} + \sigma_{23} c_0^{\text{г}} \\ c_{\text{поз}}^{\text{г}} &= \sigma_{31} c_0^{\text{ж}} + \sigma_{32} c_0^{\text{п}} + \sigma_{33} c_0^{\text{г}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $c_{\text{поз}}^{\text{ж}}$, $c_{\text{поз}}^{\text{п}}$, $c_{\text{поз}}^{\text{г}}$ — поверхностные концентрации позитивных красителей в единицах ВЭСП; $c_0^{\text{ж}}$, $c_0^{\text{п}}$, $c_0^{\text{г}}$ — субтрактивные координаты цветов объекта в тех же единицах ВЭСП; σ_{ij} — сквозные цветоделительные характеристики.

Для более правильного сравнения различных процессов по цвето-воспроизведению, исключающего влияние случайных градационных факторов на цветопередачу, при составлении уравнений (7) градационные характеристики принимались нами для сравниваемых процессов одинаковыми и идеальными. Наличие сквозных цветоделительных характеристик процессов (7) и колориметрических характеристик позитивных триад [системы (3') и (4')] позволило выразить цветовоспроизведение для различных процессов в одинаковых величинах — зональных плотностях.

Для этого в правые части уравнений (3'), выражающих зональные плотности через субтрактивные координаты ($c^{\text{ж}} c^{\text{п}} c^{\text{г}}$), были подставлены правые части уравнений сквозных цветоделительных характеристик (7). Таким образом были получены формулы, пригодные для расчета зональных плотностей на позитивном изображении по субтрактивным координатам цветов фотографируемого объекта. Например, для обычного негативно-позитивного процесса в соответствии с формулой (3') $D_c^{\text{поз}} = 0.65 c_{\text{поз}}^{\text{ж}} + 0.32 c_{\text{поз}}^{\text{п}} + 0.03 c_{\text{поз}}^{\text{г}}$. Синяя зональная плотность выражается через субтрактивные координаты объекта уравнением

$$D_c^{\text{поз}} = 0.65 (0.43 c_0^{\text{ж}} + 0.48 c_0^{\text{п}} + 0.09 c_0^{\text{г}}) + 0.32 (0.05 c_0^{\text{ж}} + 0.73 c_0^{\text{п}} + 0.22 c_0^{\text{г}}) + 0.03 (-0.02 c_0^{\text{ж}} + 0.16 c_0^{\text{п}} + 0.86 c_0^{\text{г}}) = 0.30 c_0^{\text{ж}} + 0.55 c_0^{\text{п}} + 0.15 c_0^{\text{г}}, \quad (8)$$

где коэффициенты в скобках представляют собой сквозные цветоделительные характеристики процесса.

Чтобы исходные цвета объекта тоже выразить в одинаковых величинах, как и цвета позитивных изображений, субтрактивные цвета оригинала $c_0^{\text{ж}}$, $c_0^{\text{п}}$, $c_0^{\text{г}}$ выражались через зональные плотности по формуле (4'). Например, подставляя в уравнение (8) правые части уравнений (4'), найдем:

$$\begin{aligned} D_c^{\text{поз}} &= 0.30 (1.59 D_c^0 - 0.65 D_s^0 + 0.06 D_k^0) + 0.55 (-0.13 D_c^0 + 1.39 D_s^0 - 0.26 D_k^0) + 0.15 (0.04 D_c^0 - 0.47 D_s^0 + 1.43 D_k^0) = \\ &= 0.41 D_c^0 + 0.50 D_s^0 + 0.09 D_k^0. \end{aligned} \quad (9)$$

Полученные таким образом уравнения показывают, какими величинами зональных плотностей $D_c^{\text{поз}}$, $D_s^{\text{поз}}$, $D_k^{\text{поз}}$ будут переданы на позитиве цвета оригинала, заданные, как и цвета позитива, величинами зональных плотностей D_c^0 , D_s^0 , D_k^0 . При этом предполагается, что серая шкала воспроизводится на позитиве правильно. Коэффициенты получаемых таким образом линейных уравнений назовем зональными характеристиками процесса.

В табл. 2 приведены зональные характеристики исследованных нами процессов.

Разработанный метод колориметрической характеристики цветовоспроизведения путем выражения сквозных цветоделительных характеристик через зональные плотности позволяет производить оценку цветовоспроизведения для процессов с различными триадами красителей в позитиве и любыми негативами и контратипными пленками.

Зональные характеристики процессов

Таблица

Процесс		$D_{ж}^0$	D_a^0	D_k^0
Негатив-позитив ДС-2—ЦП-2	$D_{ж}^{поз}$	0.41	0.50	0.00
	$D_a^{поз}$	0.02	0.71	0.27
	$D_k^{поз}$	-0.01	0.09	0.02
Негатив-позитив ЛН-3—ЦП-2	$D_{ж}^{поз}$	0.50	0.56	-0.00
	$D_a^{поз}$	0.02	0.90	0.00
	$D_k^{поз}$	-0.03	0.13	0.00
Негатив-контрасти на пленке с маской в слое-позитив	$D_{ж}^{поз}$	0.21	0.65	0.11
	$D_a^{поз}$	0.02	0.80	0.19
	$D_k^{поз}$	0.00	0.16	0.00
Гидротипный	$D_{ж}^{поз}$	0.49	0.29	0.22
	$D_a^{поз}$	0.08	0.46	0.40
	$D_k^{поз}$	-0.04	0.06	0.00

Количественная оценка цветовоспроизведения, полученная по этой методике, согласуется с визуальной оценкой позитивного изображения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. С. Овечкин, Л. Ф. Артюшин, Техника кино и телевидения, I, вып. 45—55, 1957.
- [2] Н. С. Овечкин. Проблемы физиологической оптики, вып. 8. Изд. АН СССР М., 1953.
- [3] Н. С. Овечкин, Сб. «Цветная кинематография», изд. «Искусство», 1955.
- [4] Н. С. Овечкин, Усп. научн. фотографии, II, 145—154, 1954.
- [5] Н. Ф. Семенова, Техника кино и телевидения, I, вып. 10, 45, 1957.
- [6] Л. Ф. Артюшин, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 120—121, 1959.

Д. К. БАЛАБУХА

ГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

1. Введение

Исследование цветовоспроизведения в любом цветофотографическом процессе, по существу, сводится к установлению взаимосвязи между точностью цветовоспроизведения и теми или иными технологическими (сенситометрическими) параметрами процесса. Естественно, что выбор оптимальных, с точки зрения цветовоспроизведения, значений этих параметров не может быть осуществлен путем проб вследствие сложности современной цветофотографической технологии. Для рациональной организации производственного процесса необходимо установить, с одной стороны, меру точности цветовоспроизведения, с другой — такой способ взаимосвязи технологических характеристик, при котором влияние каждой из них в отдельности на точность цветовоспроизведения выступало бы наиболее отчетливо.

Л. Ф. Артюшин [1] предложил аналитический метод решения задачи цветовоспроизведения в виде так называемого уравнения цветопередачи. Это уравнение устанавливает связь между субтрактивными координатами [2] оригинала и его репродукции через цветоделительные характеристики [3, 4] цветофотографического процесса и сенситометрические параметры используемых в нем материалов. Однако ни характеристические кривые, ни цветоделительные характеристики не могут быть представлены в аналитической форме, вследствие чего уравнение цветопередачи решается только путем их линейной аппроксимации. При этом игнорируются криволинейные участки этих характеристик, играющие, как известно, весьма важную роль в процессе воспроизведения. Применение нелинейных цветоделительных характеристик [5], хотя и исправляет в известной мере этот недостаток, но чрезвычайно усложняет вычисления.

Возможен другой, более общий способ решения задачи цветовоспроизведения. Процесс цветовоспроизведения можно отобразить специальной диаграммой, связывающей между собой сенситометрические (цветоделительные и градационные) параметры цветофотографического процесса, представленные в графической форме. Основы такого приема были разработаны Л. А. Джонсом [6] при исследовании воспроизведения тонов работаны Л. А. Джонсом [6] при исследовании воспроизведения тонов в черно-белой фотографии. Применение его к цветофотографическому процессу было описано В. Берендтом [7] и Ю. Н. Гороховским [8]. Теоретический анализ такого способа интерпретации экспериментальных данных о процессе цветной репродукции был дан Н. Д. Ньюбергом [9].

Далее описывается метод исследования процесса цветовоспроизведения путем построения диаграммы цветовоспроизведения. Хотя этот метод разрабатывался для анализа цветовоспроизведения в гидротипном [10] процессе, он не содержит в себе никаких ограничений, препятствующих его распространению на любые другие субтрактивные цветофотографические процессы.

2. Полоса цветовоспроизведения

Оценка точности цветовоспроизведения произвольного объекта съемки (оригинала) может быть произведена только колориметрически, путем сравнения аддитивных координат цвета объекта и его репродукции. Однако технологическая интерпретация полученных таким образом данных крайне затруднительна. Значительно удобнее представлять себе объект фотографирования заданными своими субтрактивными координатами, т. е. количествами красителей синтеза, необходимыми для физиологически точного воспроизведения его полей.¹ В этом случае каждое поле объекта может быть изображено вектором $c^0 = (c_1^0, c_2^0, c_3^0)$ в координатном пространстве красителей синтеза.

Естественно, что геометрическим местом концов векторов цветных полей, воспроизводимых данным процессом, является поверхность тела цветового охвата синтеза. Таким образом, хотя мы и сужаем представление об объекте фотографирования, но зато получаем возможность сформулировать условие идеального цветовоспроизведения: для соответственных полей объекта и репродукции должно выполняться равенство $c^0 = c^p$, где c^p — вектор цветного поля в репродукции. Векторная разность $\Delta c = c^0 - c^p$ и является мерой точности цветовоспроизведения.

Удобнее, однако, рассматривать не сами векторы, а их проекции на координатные оси, описывая цветовоспроизведение скалярными функциями

$$c_i^p = f(c_i^0) \quad (i=1, 2, 3),$$

а точность цветовоспроизведения — скалярными разностями

$$\Delta c_i = c_i^0 - c_i^p \quad (i=1, 2, 3).$$

Согласно теореме Ньюберга о трех точках [9], одинаковые по цвету (физиологически одинаковые) излучения являются изоактиничными в отношении любых встречающихся на практике фотографических приемников.

Поэтому при исследовании цветовоспроизведения объекты природы можно заменить искусственно созданным нормированным объектом (тест-оригиналом), подобно тому, как в черно-белой сенситометрии объект фотографирования заменяется серым оптическим клином.

Из каких же элементов должен состоять тест для исследования процесса цветовоспроизведения? Для выяснения этого вопроса необходимо рассмотреть некоторые общие положения теории цветовоспроизведения.

Предварительно условимся измерять количества красителей (субтрактивные координаты) их относительной поверхностной концентрацией [11]. Такое определение концентрации, по-видимому, является более удобным, чем обычно применяемое определение в единицах ВЭСП или ФЭСП. Значения ВЭСП (ФЭСП) не измеряются непосредственно каким-либо прибором, а получаются как следствие из цветоделительных испытаний. Но эти испытания устанавливают связь между концентрацией красителя и его эффективной плотностью в отношении некоторого приемника и, следовательно, должны уже базироваться на некоторой системе оценки этих концентраций. Кроме того, единицы ФЭСП зависят от рода приемника, по отношению к которому определяются цветоделительные характеристики. Концентрации же красителей представляют собой фи-

¹ Под цветным полем здесь и в дальнейшем понимается однородный в отношении оптико-колориметрических свойств участок объекта фотографирования или фотографического изображения.

зические реальности, независимые от тех условий, в которых мы их предполагаем использовать. Считать, что единицы ФЭСП позволяют одновременно оценивать как концентрации красителей, так и эффективные плотности содержащих эти красители цветных полей, в общем случае нельзя. Подобное утверждение справедливо лишь для серых или близких к таковым цветных полей [12].

Правильнее поэтому строго разграничивать количество красителя, образующееся в результате осуществления некоторого цветофотографического процесса и измеряемое его относительной поверхностной концентрацией, и эффективную плотность цветного поля, содержащего этот краситель, в отношении какого-либо приемника излучения. Обозначим концентрацию красителя c_i^a , где a — материал (позитив, негатив и т. п.),

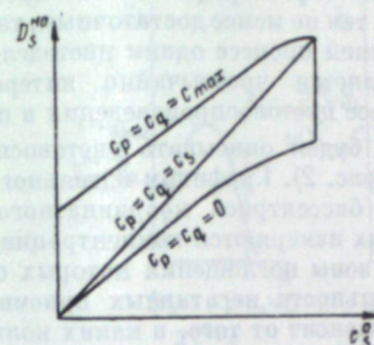


Рис. 1. Полоса цветоделения (по Ньюбергу).

c_s — концентрация выделяемого красителя; c_p и c_q — концентрации невыделяемых красителей; c_{max} — наибольшее технологически достижимое значение концентрации.

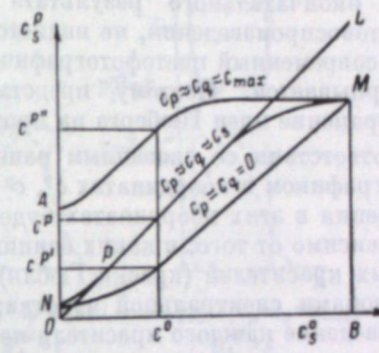


Рис. 2. Полоса цветовоспроизведения.

Обозначения те же, что и на рис. 1. $BM = c_{max}$; $ON = c_{вуали}$.

а i — краситель (желтый, пурпурный, голубой). Эффективную плотность обозначим D_{ik}^{bd} , где d — модулятор экспозиции (например, негатив), b — приемник излучения (например, позитивный материал), k — копируемое цветоделенное изображение, а i — изображение, получающееся в результате копирования¹ (в случае, если цветное поле рассматривается как единое целое, без разделения на отдельные цветоделенные изображения, индекс k опускается). Для желтого (синефильтрового) изображения (приемника) i (или k) = 1, для пурпурного (зеленофильтрового) — 2, для голубого (краснофильтрового) — 3.

Н. Д. Ньюбергом [9] было введено понятие о полосе цветоделения. Зависимость эффективной плотности цветного поля в отношении некоторого приемника от концентрации выделяемого этим приемником красителя неоднозначна вследствие взаимного перекрытия кривых спектрального светопоглощения реальных красителей. Если описывать цветоделение графиком на плоскости, например c_s^0, D_s^{no} , (s-й приемник выделяет краситель s из триады красителей s, p и q), как это изображено на рис. 1, то такой график будет иметь форму полосы, ограниченной двумя кривыми $[D_s^{no}]' = f(c_s^0)$; ($c_p = c_q = 0$) и двумя прямыми $c_s^0 = 0$ и $c_s^0 = c_{max}$; здесь c_p и c_q — концентрации невыделяемых красителей, а c_{max} — наи-

¹ Эта система обозначений в основном заимствована из работы Л. Ф. Артюшина [1].

большая концентрация красителя, используемая в изучаемом цветофотографическом процессе.

Если поставить условием выполнения исследуемого цветофотографического процесса воспроизведение без искажения цветов, изображаемых диагональю полосы цветоделения, т. е. линией, характеризующей изменение эффективной плотности при одновременном и пропорциональном изменении всех трех субтрактивных координат, то все цвета, эффективные плотности которых лежат ниже этой диагонали, будут в конечном счете воспроизведены с искажением по недостатку выделяемого красителя, а все цвета, эффективные плотности которых лежат выше, — по избытку этого красителя.

Однако знание полосы цветоделения, будучи необходимым для определения окончательного результата цветофотографического процесса, т. е. цветовоспроизведения, не является тем не менее достаточным, так как ни один современный цветофотографический процесс одним цветоделением не исчерпывается. Поэтому представляется чрезвычайно интересным распространение идеи Нюберга на процесс цветовоспроизведения в целом.

В соответствии со сказанным ранее будем описывать цветовоспроизведение графиком в координатах c^0, c^p (рис. 2). Графиком идеального воспроизведения в этих координатах будет биссектриса координатного угла OL , независимо от того, в каких единицах измеряются концентрации. Для идеальных красителей (краски Гюбля), зоны поглощения которых совпадают с зонами спектральной чувствительности негативных приемников, воспроизведение каждого красителя не зависит от того, в каких количествах присутствуют при этом два других. В этом случае вся информация о процессе цветовоспроизведения может быть дана в виде функции $c^p = f(c^0)$ график которой обычно именуется кривой воспроизведения. В реальных процессах, в которых красители обладают пологими кривыми поглощения, а светочувствительные приемники — пологими кривыми спектральной чувствительности, воспроизведение каждого красителя зависит от того, в каком соотношении с двумя другими он воспроизводится. В этом случае информация о процессе цветовоспроизведения оказывается заключенной внутри некоторой полосы, ограниченной крайними возможными случаями присутствия двух других красителей, а именно в нулевом и в максимальном количествах. Эту полосу мы будем называть полосой цветовоспроизведения.

Рассмотрим, как будут воспроизводиться в произвольном цветном субтрактивном процессе три цветных поля, в каждое из которых один краситель входит в постоянной концентрации c , а два других в различных, а именно: а) $c_s = \text{const}$; $c_p = c_q = 0$; б) $c_s = c_p = c_q = \text{const}$; в) $c_s = \text{const}$; $c_p \approx c_q \approx c_{\text{max}}$.

Для простоты рассуждений предположим, что спектральное распределение энергии источника света более или менее постоянно, а зона спектральной чувствительности негативного приемника ограничена очень круто. Тогда можно считать, что эффективная плотность цветного поля оригинала относительно негативного приемника D_s^{no} приблизительно равна среднему значению монохроматической оптической плотности этого поля $\bar{D}_\lambda$ в области спектральной чувствительности приемника, т. е. $D_s^{\text{no}} \approx \bar{D}_\lambda$. На рис. 3 в схематической форме показано, как изменяется значение эффективной плотности D_s^{no} в зависимости от количества красителей c_p и c_q , не выделяемых негативным приемником s (область спектральной чувствительности приемника на этом рисунке условно показана ограниченной прямыми линиями).

Количество красителя, выделяющееся на цветном поле репродукции, в первом приближении пропорционально величине D_s^{no} . Следовательно, при воспроизведении трех рассматриваемых полей будут иметь место соотношения: $c^p < c^0$ (поле а); $c^p \approx c^0$ (поле б); $c^p > c^0$ (поле в), из которых следует, что воспроизведение цветных полей, содержащих только один краситель синтеза, должно происходить с искажением по недостатку его, а воспроизведение полей, в которых этому красителю сопутствует два других в близких к максимальному количествах, — с искажением по избытку. В первом случае процесс цвето-воспроизведения будет отображаться линией NM , а во втором — ли-

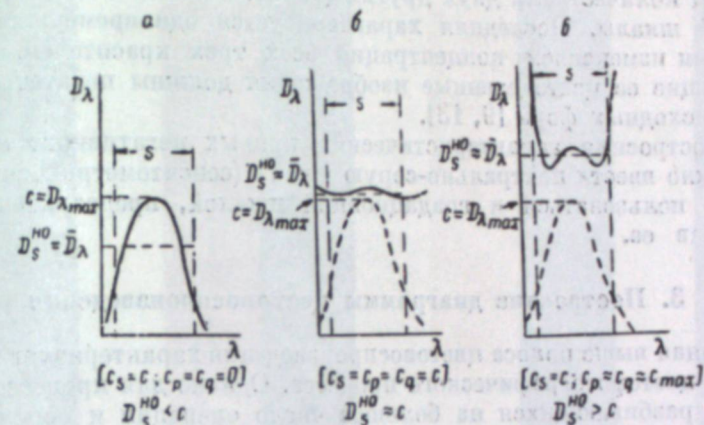


Рис. 3. Схема, поясняющая образование полосы цветовоспроизведения.

s — спектральная область светочувствительности негативного приемника; c — концентрация красителя в цветном поле оригинала; $D_{\lambda \text{ max}}$ — максимальное значение монохроматической оптической плотности этого поля; $\bar{D}_\lambda$ — ее среднее значение в области s ; D_s^{no} — эффективная плотность цветного поля относительно приемника s .

нией AM (рис. 2). Наконец, воспроизведение цветных полей, в которых количества всех трех красителей одновременно пропорционально изменяются, на графике воспроизведения отображается линией $NPQM$.

Воспроизведение таких цветов (обычно они довольно близки к серым) в основном зависит от условий проведения градационного процесса. Поэтому последовательности таких цветов удобно использовать в качестве неискажаемых шкал; такие шкалы были описаны в литературе под названиями градационной или диагональной [9] и равноплотной [13]. Задача градационного процесса, с этой точки зрения, сводится к совмещению линии $NPQM$ с линией идеального цветовоспроизведения градационной к обеспечению физически точного ($c^0 = c^p$) воспроизведения градационной шкалы. При этом ширина полосы цветовоспроизведения $c^p - c^0$ является мерой точности цветовоспроизведения.

Для простоты на рис. 2 изображена только полоса цветовоспроизведения выделяемого красителя — так называемая главная полоса. На практике ей всегда сопутствуют две полосы невыделяемых красителей (побочные или вредные полосы), которые в идеальных случаях должны быть ограничены прямыми, параллельными оси абсцисс.

Количественное определение формы полосы цветовоспроизведения, представляющей собой интегральную характеристику цветофотографического процесса, составляет главную задачу его сенситометрического исследования. Форма этой полосы однозначно определяет точность цвето-воспроизведения и может служить критерием для сравнения между собой

различных цветофотографических процессов или различных вариантов технологии одного и того же процесса.

Построение полосы цветовоспроизведения может быть осуществлено на основании сравнения тест-оригинала, цветные поля которого содержат только красители синтеза исследуемого цветофотографического процесса, с его репродукцией, полученной посредством этого процесса. Строение тест-оригинала, необходимого для этой цели, изображено на рис. 4. Он состоит из трех шкал, образованных только одним красителем (желтой, пурпурной и голубой), трех шкал, образованных переменным количеством одного из красителей синтеза совместно с постоянными, близкими к максимальным количествами двух других (синей, зеленой и красной), и градиционной шкалы. Последняя характеризуется одновременным пропорциональным изменением концентраций всех трех красителей, для чего составляющие ее цветоделенные изображения должны печататься с одинаковых исходных форм [9, 13].

Для построения характеристических кривых негативного материала в тест можно ввести нейтрально-серую шкалу (сенситометрический клин), но можно пользоваться и градиционной шкалой, предварительно проградировав ее.

3. Построение диаграммы цветовоспроизведения

Описанная выше полоса цветовоспроизведения характеризует конечный результат цветофотографического процесса. Однако для процессов, технологически разбивающихся на большое число операций и использующих несколько промежуточных материалов, этого явно недостаточно. Для правильной организации технологического процесса необходимо знать, как сочетаются между собой характеристики отдельных звеньев процесса. Информация об этом может быть получена путем построения полной диаграммы цветовоспроизведения, представляющей собой графическое отображение всего цветофотографического процесса как совокупности сенситометрических и оптических характеристик его отдельных стадий. Полоса цветовоспроизведения является заключительным элементом этой диаграммы. Такой прием позволяет проследить, как влияют на форму полосы цветовоспроизведения условия проведения отдельных операций, входящих в исследуемый цветофотографический процесс. Диаграмма цветовоспроизведения (рис. 5) состоит из ряда графиков (квадрантов), каждый из которых отображает одну независимую стадию процесса или содержит характеристическую кривую (кривые) одного из применяемых материалов.

Первый квадрант характеризует цветоделение при съемке (первичное цветоделение) и содержит полосы цветоделения негатива синтеза в тест-оригинале c^0 , а по оси ординат — эффективные плотности полей оригинала относительно негативных приемников D^{no} .

Второй квадрант содержит характеристические кривые негативного материала. По оси абсцисс откладываются концентрации красителей c^n в трех слоях негативного материала, а по оси ординат — эффективные плотности D^{no} .

Третий квадрант характеризует цветоделение при печати (вторичное цветоделение) и содержит полосы цветоделения материала, применяемого в следующей стадии процесса. Таковым, в зависимости от изучаемого процесса, может быть либо многослойная пленка — позитивная или контратипная, — либо черно-белая пленка для получения промежуточных позитивов (лаванд). По оси абсцисс во всех случаях откладывают c^n , а по оси ординат — эффективные плотности

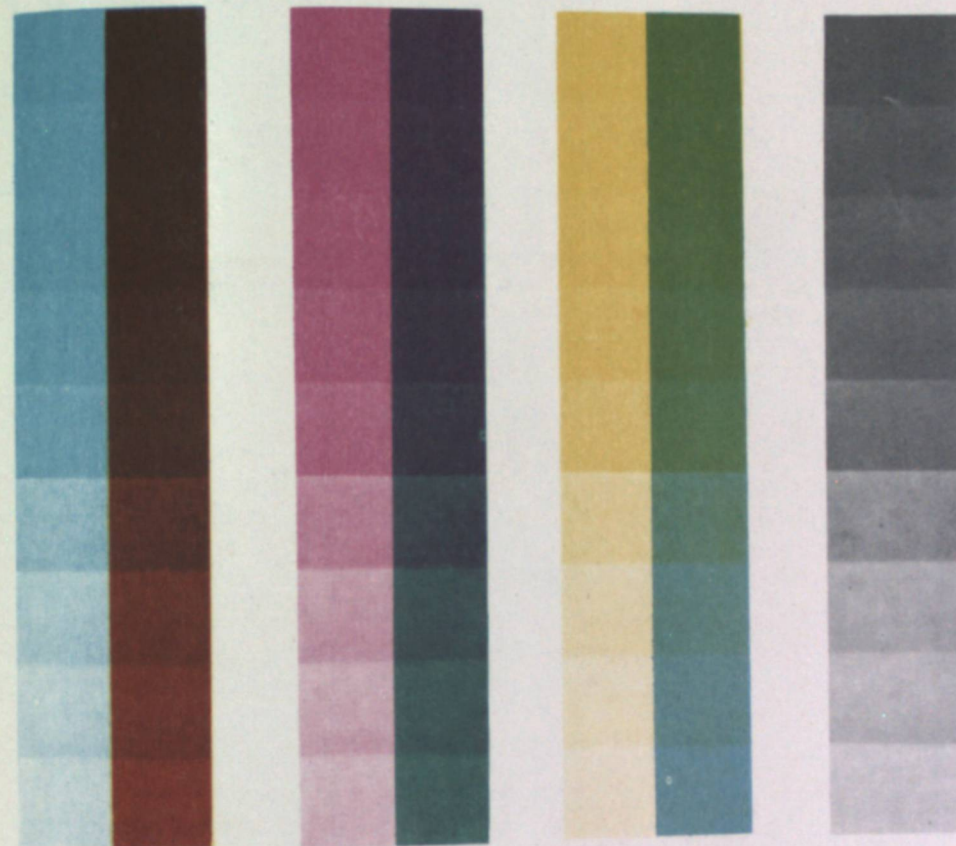


Рис. 4. Тест для исследования цветовоспроизведения.

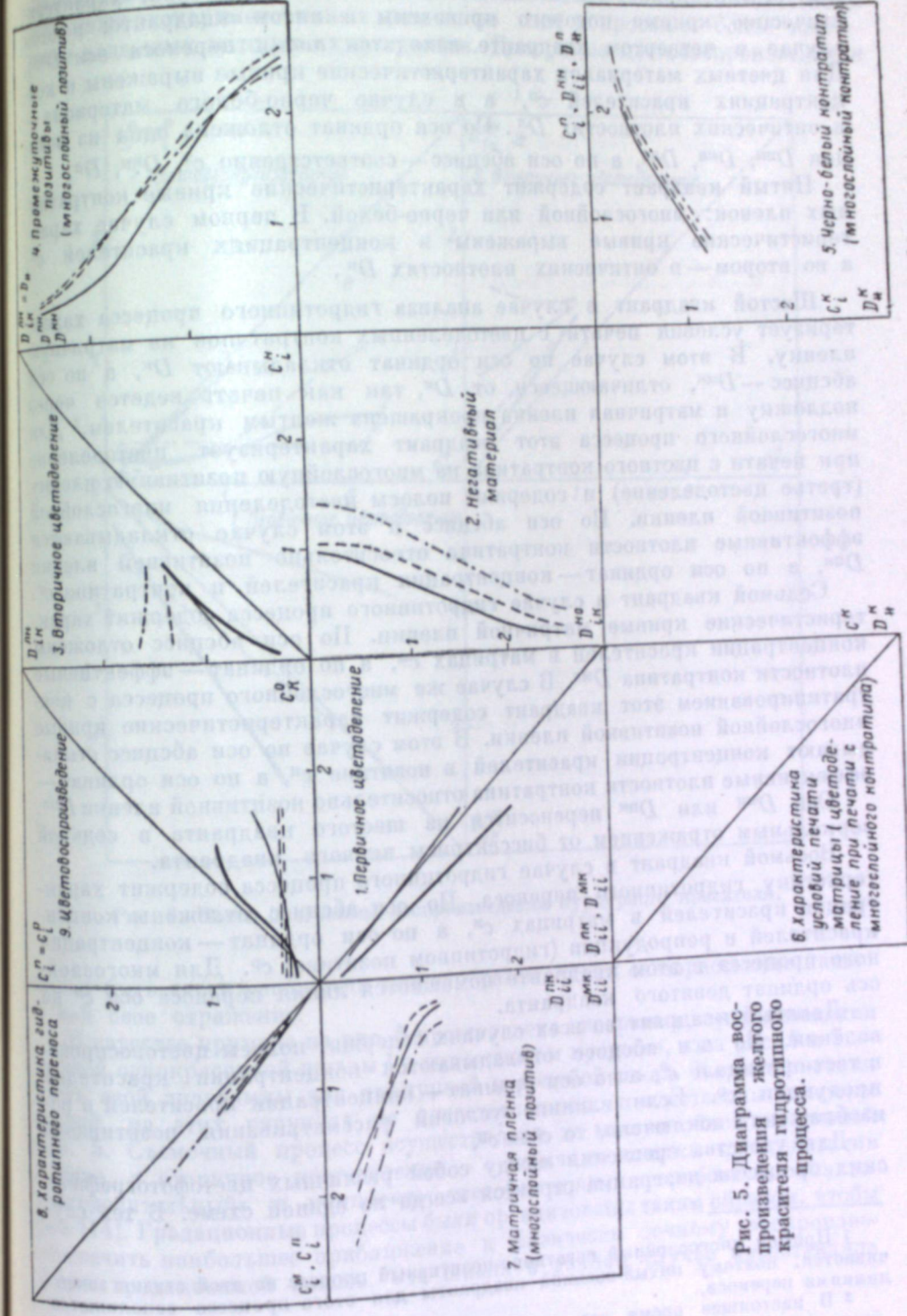


Рис. 5. Диаграмма воспроизведения желтого красителя гидротипного процесса.

многослойного негатива относительно какого-либо из только что упомянутых материалов ($D^{пн}$, $D^{кн}$, $D^{лн}$).

Четвертый квадрант содержит характеристические кривые материала, цветоделительные характеристики которого приведены в предыдущем квадранте (за исключением цветного контратипа, характеристические кривые которого приведены в пятом квадранте; в этом случае в четвертом квадранте находится линия переноса оси $D^{кн}$). Для цветных материалов характеристические кривые выражены в концентрациях красителей $c^п$, а в случае черно-белого материала — в оптических плотностях $D^п$. По оси ординат отложена одна из величин $D^{пн}$, $D^{кн}$, $D^{лн}$, а по оси абсцисс — соответственно $c^п$, $D^{кн}$, $D^п$.

Пятый квадрант содержит характеристические кривые контратипных пленок: многослойной или черно-белой. В первом случае характеристические кривые выражены в концентрациях красителей $c^к$, а во втором — в оптических плотностях $D^к$.

Шестой квадрант в случае анализа гидротипного процесса характеризует условия печати с цветоделенных контратипов на матричную пленку. В этом случае по оси ординат откладывают $D^к$, а по оси абсцисс — $D^{мк}$, отличающееся от $D^к$, так как печать ведется через подложку и матричная пленка прокрашена желтым красителем.² Для многослойного процесса этот квадрант характеризует цветоделение при печати с цветного контратипа на многослойную позитивную пленку (третье цветоделение) и содержит полосы цветоделения многослойной позитивной пленки. По оси абсцисс в этом случае откладываются эффективные плотности контратипа относительно позитивной пленки $D^{пк}$, а по оси ординат — концентрация красителей в контратипе $c^к$.

Седьмой квадрант в случае гидротипного процесса содержит характеристические кривые матричной пленки. По оси абсцисс отложены концентрации красителей в матрицах $c^м$, а по ординат — эффективные плотности контратипа $D^{мк}$. В случае же многослойного процесса с контратипированием этот квадрант содержит характеристические кривые многослойной позитивной пленки. В этом случае по оси абсцисс откладывают концентрации красителей в позитиве $c^п$, а по оси ординат — эффективные плотности контратипа относительно позитивной пленки $D^{пк}$.

Ось $D^{мк}$ или $D^{пк}$ переносится из шестого квадранта в седьмой зеркальным отражением от биссектрисы первого квадранта.

Восьмой квадрант в случае гидротипного процесса содержит характеристику гидротипного переноса. По оси абсцисс отложены концентрации красителей в матрицах $c^м$, а по оси ординат — концентрации красителей в репродукции (гидротипном позитиве) $c^р$. Для многослойного процесса в этом квадранте помещается линия переноса оси $c^п$ на ось ординат девятого квадранта.

Девятый квадрант во всех случаях содержит полосы цветовоспроизведения. По оси абсцисс откладываются концентрации красителей в тест-оригинале c^0 , а по оси ординат — концентрации красителей в репродукции $c^р$. Если влияние условий рассматривания позитивного изображения исключено, то $c^р \equiv c^п$.

Для удобства сравнения между собой различных цветофотографических процессов диаграмма строится всегда по единой схеме. В тех слу-

¹ Прямой многослойный негативно-позитивный процесс на этой стадии заканчивается, поэтому пятый-восьмой квадранты для этого процесса заполняются линиями переноса.

² В настоящее время это различие не учитывается и характеристические кривые матричной пленки строятся в координатах $c^м$, $D^к$.

чаях, когда в данном процессе какие-либо звенья отсутствуют, соответствующие им квадранты содержат только линии переноса осей.

В данной диаграмме отсутствуют характеристики светорассеяния при съемке, печати и проекции. Это упрощение не связано с какими-либо принципиальными затруднениями. Оно вызвано исключительно отсутствием надежных экспериментальных данных по этим вопросам и более того — даже надежных методов их получения. Диаграмма цветовоспроизведения

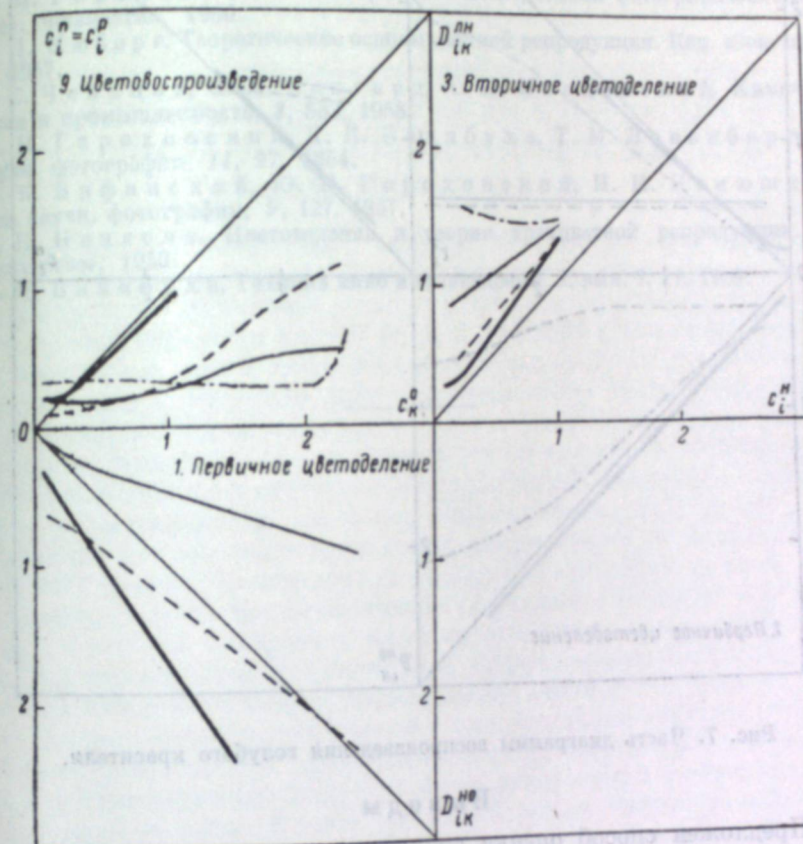


Рис. 6. Часть диаграммы воспроизведения пурпурного красителя.

может быть легко расширена таким образом, чтобы светорассеяние нашло в ней свое отражение.

В качестве примера на рис. 5 представлена диаграмма воспроизведения желтой однокрасочной шкалы¹ в гидротипном процессе, а на рис. 6 и 7 — частью этой диаграммы для пурпурной и голубой шкал. Характеристики стадий, на этих рисунках не представленных, таковы: на многослойной негативной пленке, а вторичное цветоделение — с помощью пленки «дубльпозитив» и комплекта светофильтров, разработанного автором [14]. Градационные процессы были организованы таким образом, чтобы обеспечить наибольшее приближение к физически точному воспроизведению градационной шкалы. Эта шкала в данном случае представляла

¹ Воспроизведение в области искажений по опыту вследствие технических трудностей пока не изучалось.

собой изображение, полученное гидротипным переносом с трех фотографически тождественных цветоделенных матриц. Воспроизведение данной шкалы на рис. 5—7 показано жирной линией в 9-м квадранте.

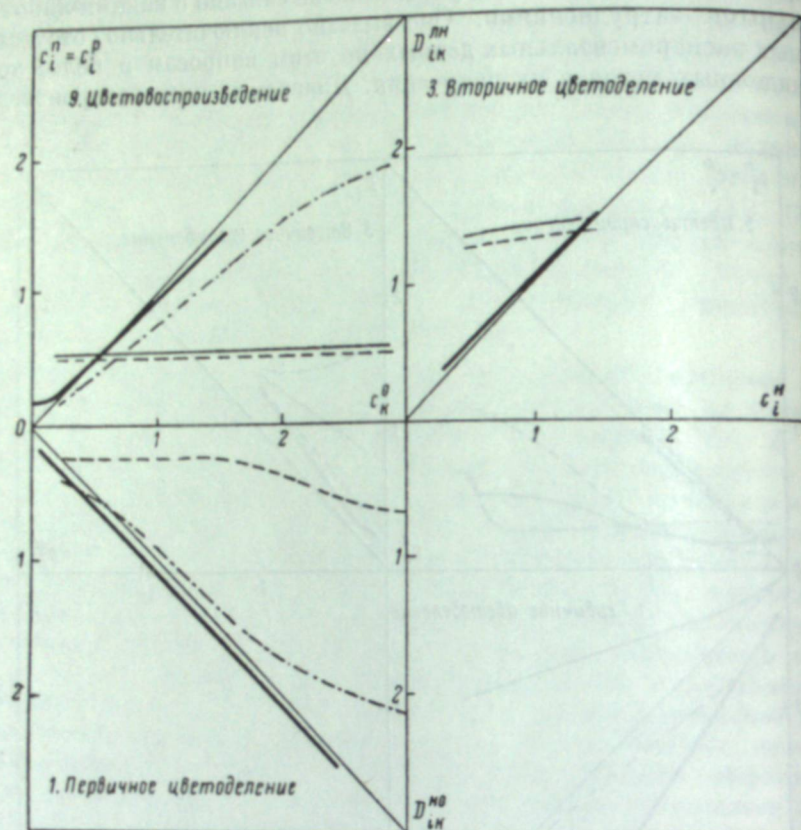


Рис. 7. Часть диаграммы воспроизведения голубого красителя.

Выводы

1. Предложен способ оценки точности цветовоспроизведения по ширине полосы цветовоспроизведения, заключенной между графиками воспроизведения каждого из красителей синтеза в изолированном состоянии и в присутствии максимальных количеств двух других. При условии физического точного воспроизведения градационной шкалы ширина полосы цветовоспроизведения является мерой цветовых искажений, присущих данному цветофотографическому процессу.

2. Взаимосвязь между точностью цветовоспроизведения и сенситометрическими (цветоделительными и градационными) характеристиками отдельных технологических звеньев цветофотографического процесса устанавливается построением диаграммы цветовоспроизведения, аналогичной диаграмме тоновоспроизведения Джонса. Такой метод исследования цветовоспроизведения является более общим, чем аналитический, предложенный Л. Ф. Артюшиным, так как здесь учитываются непрямолинейные участки характеристик промежуточных процессов.

3. Предложен специальный тест-оригинал, цветные поля которого содержат только красители синтеза исследуемого цветофотографического процесса. Изучение воспроизведения такого оригинала позволяет осуществить построение как полосы цветовоспроизведения, так и всей диаграммы цветовоспроизведения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Л. Ф. Артюшин, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 120, 1958.
- [2] Н. Д. Нюберг, Усп. научн. фотографии, II, 135, 1954.
- [3] Н. Ф. Семенова, Техника кино и телевидения, I, вып. 10, 52, 1957.
- [4] Н. Ф. Семенова, Техника кино и телевидения, 2, вып. 4, 45, 1958.
- [5] Л. Ф. Артюшин, Н. Ф. Семенова, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 4, 20, 1959.
- [6] L. A. Jones, Photogr. Journ., 89, 1949.
- [7] W. Behrendt, Veröffentlichungen wiss. Labor. Agfa, 7, 19, 1951.
- [8] Ю. Н. Гороховский, Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, 1960.
- [9] Н. Д. Нюберг, Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Сов. наука», М., 1947.
- [10] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, Химическая наука и промышленность, 3, 583, 1958.
- [11] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотографии, II, 97, 1954.
- [12] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Усп. научн. фотографии, V, 127, 1957.
- [13] И. Н. Нечаева, Цветоведение и теория трехцветной репродукции. Изд. «Искусство», 1956.
- [14] Д. К. Балабуха, Техника кино и телевидения, 3, вып. 7, 11, 1959.

Н. Б. ВАРШАВСКАЯ, Т. М. ЛЕВЕНБЕРГ,
Л. К. ЛОКУЦЕВСКАЯ

О ТРЕБОВАНИЯХ К ЭКСПОЗИЦИОННОМУ РЕЖИМУ ПРИ КИНОСЪЕМКЕ НА МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛАХ В СЛУЧАЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРАТИПИРОВАНИЯ

Большие тиражи выпуска цветных кинокартин в Советском Союзе делают необходимым контратипирование цветных негативов, которое в настоящее время осуществляется методом обращения с применением специальной обрабатываемой пленки с желтой маской в среднем слое.

Известно, что качество цветовоспроизведения копий, полученных с контратипа, значительно ниже качества копий, полученных с оригинального негатива. Это и естественно, так как в процессе контратипирования неизбежно вносятся как новые цветоделительные, так и новые градационные искажения. Работами Ленинградского института киноинженеров [1] показано, что при контратипировании, как правило, используются не только прямолинейные, но и начальные, а часто и конечные участки характеристических кривых негативной, а также контратипной пленок. Это должно привести к особенно резкому ухудшению качества цветовоспроизведения в том случае, когда часть деталей, уже переданная в негативе начальными или конечными участками характеристических кривых негативной пленки, в контратипе вновь изображается за счет начальных или конечных участков характеристических кривых контратипной пленки.

В связи с этим особый интерес представляет вопрос о дозировке экспозиции при съемке в том случае, когда негативы предназначены для последующего контратипирования. Выяснение этого вопроса и явилось целью настоящей работы.

Методика исследования была следующей. Был избран ряд объектов: серая восьмипольная шкала, цветные таблицы, состоящие из цветных накресок атласа Баумана, натюрморт, лицо, пейзажи различных типов. Каждый из этих объектов снимался кинокамерой «Дебри» с различными экспозициями, которые менялись в широких пределах путем диафрагмирования объектива от 1:2 до 1:22. При этом постоянство условий освещения контролировалось по яркости белого листа бумаги, которая измерялась экспонетром НИКФИ.

Съемки производились на различно сбалансированных образцах цветных пленок ДС-2 и ЛН-3 при естественном освещении и искусственном свете ламп накаливания и дуги интенсивного горения. Характеристические кривые использованных пленок приведены на рис. 1.

С полученных кинонегативов, во-первых, производилась прямая позитивная печать, а, во-вторых, с них методом обращения были сделаны на контратипной обрабатываемой пленке «Агфакolor» цветные контратипы, с последних были также напечатаны позитивы. Таким образом, для каждого объекта были получены две серии позитивов (прямой печатью и печатью с контратипов), отвечающие различным уровням экспозиции при негативном процессе.

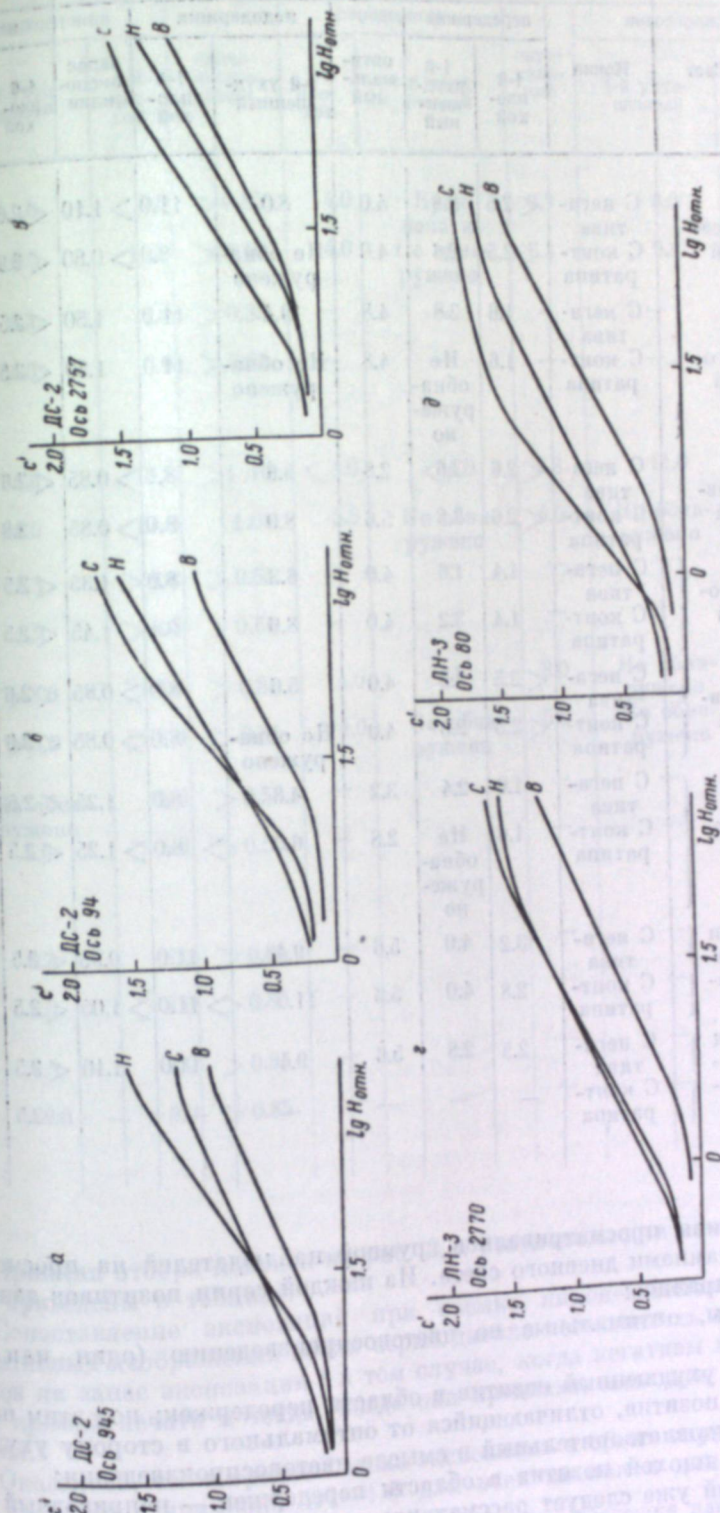


Рис. 1. Характеристические кривые применявшихся киноплёнок (а—в).

Пленка	Свет	Копия	Серая шкала								Пейзаж									
			передержка		оптимальный	недодержка		запас экспозиции	передержка		Дипо		передержка		оптимальный	недодержка		запас экспозиции		
			1-й плохой	1-й ухудшенный		1-й ухудшенный	1-й плохой		1-й плохой	1-й ухудшенный	1-й плохой	1-й ухудшенный	1-й плохой	1-й ухудшенный						
ДС-2 Ось 94	Дневной	С негатива	< 2.5	2.8	4.0	8.0	11.0	> 1.10	< 2.6	< 2.6	2.8	5.6	8.0	> 0.85	4.0	Брак печати	6.3	6.0	9.4	0.60
		С контратипа	< 2.5	2.8	4.0	Не обнаружено	8.0	> 0.80	< 2.6	< 2.6	2.8	8.0	11.0	> 1.10	4.0	Не обнаружено	6.3	> 9.4	> 9.4	> 0.60
	Дуговой	С негатива	1.6	2.8	4.8	9.4	11.0	1.50	< 2.5	< 2.5	4.0	6.3	8.0	> 0.85	—	—	—	—	—	—
		С контратипа	1.6	Не обнаружено	4.8	Не обнаружено	11.0	1.50	< 2.5	< 2.5	3.2	6.3	8.0	> 0.85	—	—	—	—	—	—
ДС-2 Ось 945	Дневной	С негатива	< 2.6	2.6	2.8	5.6	8.0	> 0.85	< 2.6	2.8	4.0	5.6	11.0	> 1.10	< 4.0	< 4.0	5.6	11.0	> 13.5	> 0.90
		С контратипа	< 2.6	2.8	5.6	8.0	8.0	> 0.85	2.8	Не обнаружено	3.6	8.0	11.0	1.05	5.6	Не обнаружено	8.0	Не обнаружено	11.0	0.45
	Дуговой	С негатива	1.4	1.6	4.0	6.3	8.0	1.35	< 2.5	3.2	5.6	6.3	> 6.3	> 0.65	—	—	—	—	—	—
		С контратипа	1.4	3.2	4.0	8.0	9.4	1.45	< 2.5	2.8	4.8	6.3	> 6.3	> 0.65	—	—	—	—	—	—
ДС-2 Ось 2757	Дневной	С негатива	< 2.5	2.5	4.0	5.6	8.0	> 0.85	< 2.6	2.8	8.0	> 8.0	> 8.0	> 0.85	4.0	4.8	8.0	Не обнаружено	13.0	0.90
		С контратипа	< 2.5	2.5	4.0	Не обнаружено	8.0	> 0.85	< 2.6	2.8	8.0	> 8.0	> 8.0	> 0.85	4.0	Не обнаружено	5.6	Не обнаружено	8.0	0.45
	Дуговой	С негатива	1.6	2.4	3.2	4.8	8.0	1.25	< 2.5	2.5	3.2	Не обнаружено	5.6	> 0.55	—	—	—	—	—	—
		С контратипа	1.6	Не обнаружено	2.8	6.3	> 8.0	> 1.25	< 2.5	2.5	4.8	5.6	> 5.6	> 0.55	—	—	—	—	—	—
ЛН-3 Ось 80	Лампы накаливания	С негатива	3.2	4.0	5.6	9.4	11.0	0.95	< 2.5	< 2.5	3.2	6.3	8.0	> 0.85	—	—	—	—	—	—
		С контратипа	2.8	4.0	5.6	11.0	> 11.0	> 1.05	< 2.5	2.5	3.2	8.0	> 8.0	> 0.85	—	—	—	—	—	—
ЛН-3 Ось 2770	Лампы накаливания	С негатива	2.5	2.8	5.6	9.4	11.0	1.10	< 2.5	2.5	5.6	6.3	8.0	> 0.85	—	—	—	—	—	—
		С контратипа	—	—	—	—	—	—	—	2.5	5.6	6.3	> 8.0	> 8.0	> 0.85	—	—	—	—	—

Все позитивы просматривались группой наблюдателей на просмотрном столе с лампами дневного света. Из каждой серии позитивов данного объекта выбирались:

- 1) позитивы, оптимальные по цветовоспроизведению (один или несколько);
- 2) первый ухудшенный позитив в области передержек; под этим понимали первый позитив, отличающийся от оптимального в сторону ухудшения, но еще удовлетворительный в смысле цветовоспроизведения;
- 3) первый плохой позитив в области передержек — непригодный позитив, который уже следует рассматривать как брак;
- 4) первый ухудшенный позитив в области недодержек;
- 5) первый плохой позитив в области недодержек.

Принцип отбора пояснен на рис. 2, а результаты для некоторых объектов приведены в таблице.

Сопоставление экспозиций при съемке кионегативов с качеством позитивных изображений обеих серий давало возможность выяснить, одинаковы ли запас экспозиции¹ в том случае, когда негативы предназначены для прямой печати и тогда, когда они предназначены для контратипирования.

Оказалось, что в среднем запас экспозиции в обоих случаях одинаков. Он составляет примерно 1.4—1.5 для всех пленок и для всех сюжетов.

¹ Под запасом экспозиции понимается логарифм отношения наибольшей и наименьшей экспозиций при съемке, дающих негативы, с которых еще можно получить удовлетворительные позитивные изображения (оптимальные и первые ухудшенные).

среднего контраста; в случае объектов высокого контраста из-за недостаточного количества экспериментального материала мы можем дать лишь приблизительное его значение 0.7—0.8. Необходимо отметить, что при киносъемках нами всегда соблюдались требования, предъявляемые техническими условиями на цветную негативную пленку к спектральному составу экспонирующего излучения. При несоблюдении этих требований запас экспозиции будет меньше, так как даже сравнительно небольшие отклонения спектрального состава от нормы вызывают заметную разбалансировку многослойной пленки по светочувствительности [2].

В целом качество цветовоспроизведения копии, полученной с контратипа, как правило, значительно ниже качества оригинальной копии.

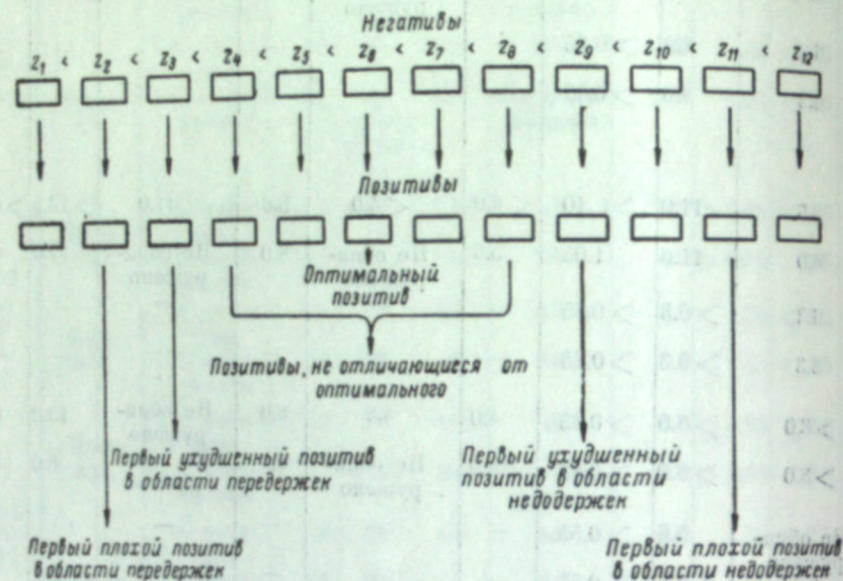


Рис. 2. Схема отбора позитивов.

Оптимальные позитивы с контратипа по качеству сравнимы с ухудшенными позитивами оригинальной копии. Это особенно характерно для передачи насыщенных цветов и белого.

Интересно отметить следующее обстоятельство. В случае оригинальных цветных позитивов ухудшение качества изображения с изменением экспозиции происходит постепенно. В случае же позитивов, полученных с контратипа, качество изображения, оставаясь примерно одинаковым в широком интервале экспозиций, затем сразу резко падает. Объясняется это тем, что искажения цветовоспроизведения, вносимые самим процессом контратипирования, значительно больше искажений, вызываемых смещением используемых участков характеристических кривых негативной пленки, связанным с изменением экспозиции при съемке.

Надо думать, что нивелирование качества позитивов, полученных с различно экспонированных негативов, должно наблюдаться не только в случае промежуточного контратипирования, но и вообще при введении в цветофотографический процесс какого-либо добавочного промежуточного звена, содержащего еще одно цветоделение.

Мы пытались проследить, какие участки характеристических кривых негативной пленки используются при оптимальной экспозиции и при экспозициях, соответствующих первым ухудшенным и первым плохим позитивам. Для этой цели на негативах, с которых были напечатаны

указанные позитивы, спектрофотометрически [3] определялись поверхностные концентрации красителей на изображениях ряда деталей. Измерение монохроматических оптических плотностей в трех избранных длинах волны производилось на монохроматоре УМ-2 со специальной микроденситометрической фотоэлектрической приставкой [3, гл. 6]. Эта приставка состоит из оптической системы, дающей уменьшенное изображение выходной щели монохроматора в плоскости измеряемой пленки, и селенового фотоэлемента, соединенного с гальванометром М-21.

Полученные значения поверхностных концентраций, выраженные в приведенных к серому значениях [4] $c'_ж$, $c'_н$, $c'_г$, наносили на характеристические кривые негативных пленок, использованных при съемке.

Оказалось, что частичное использование криволинейных участков характеристических кривых негативной пленки почти всегда имеет место и до известного предела не оказывает существенного влияния на качество позитивного изображения. Позитивы, совершенно неудовлетворительные по качеству («первые плохие»), получаются тогда, когда в одном или двух слоях негативной пленки прямолинейные участки используются мало, а начальные или конечные участки — полностью или почти полностью.

Более строгих количественных закономерностей установить не удалось по двум причинам. Во-первых, в условиях получения цветного фотографического изображения реальные характеристические кривые заметно отличаются по форме от сенситометрических, полученных для белого света, из-за явления взаимного влияния слоев при проявлении и из-за светорассеяния в камере. Реальная форма и взаимное расположение характеристических кривых не остаются постоянными, а зависят от цвета снимаемого объекта или его отдельных деталей, так как с изменением цвета меняется и соотношение экспозиций в трех слоях многослойной пленки. Во-вторых, при различном диафрагмировании объектива меняется распределение освещенности в поле изображения: при уменьшении относительного отверстия уменьшается неравномерность рассеянного света. Влияние этих факторов, надо думать, значительно, но оно не поддается учету.

Практический интерес представляло установить связь между цветовым паспортом оригинальных негативов и качеством позитивов и контратипов, полученных с этих негативов.

На рис. 3 дана диаграмма распределения оптимальных, первых ухудшенных и первых плохих позитивов с контратипа по номерам светов цветосветового паспорта оригинального негатива.

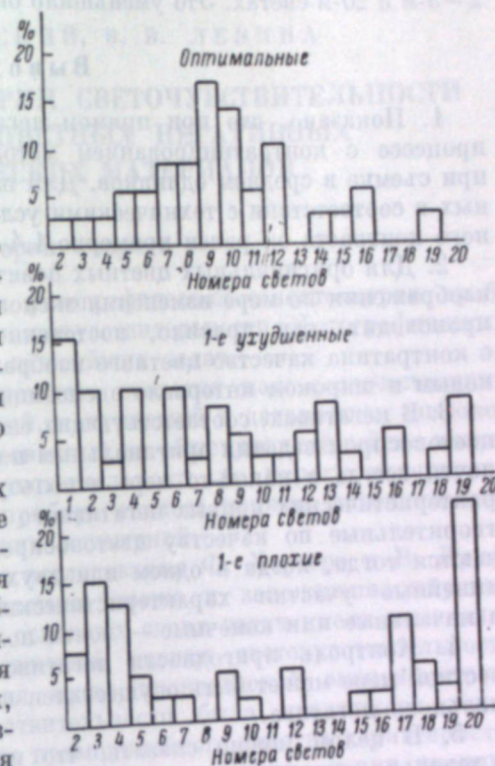


Рис. 3. Диаграмма распределения оптимальных, первых ухудшенных и первых плохих позитивов с контратипа по номерам светов цветосветового паспорта оригинального негатива.

Как видно из рисунка, наибольшее число оптимальных позитивов с контратипа падает на 9-й и 10-й света (31%), наибольшее число первых плохих — на 2—4-й и 20-й света (57% от общего числа).

Общее число исследованных нами случаев не настолько велико, чтобы статистика была вполне безупречной, но нет сомнения, что общая картина выявлена правильно. Так как на практике, во всяком случае при съемке в павильоне, чаще встречаются недодержки, чем передержки, то со стороны малых номеров светов наиболее неблагоприятными являются 2—4-й света, а со стороны больших — только 20-й свет.

Исходя из этого, можно рекомендовать для улучшения качества копий с контратипа браковать оригинальные негативы, печатающиеся на 2—3-м и 20-м светах. Это уменьшило бы брак массовых копий на 40—50%.

Выводы

1. Показано, что при прямом негативно-позитивном процессе и при процессе с контратипированием методом обращения запас экспозиций при съемке в среднем одинаков. Для пленок ДС-2 и ЛН-3, экспонированных в соответствии с техническими условиями, при съемке объектов среднего контраста он равен примерно 1.4—1.5.

2. Для оригинальных цветных позитивов ухудшение качества цветного изображения по мере изменения экспозиции по сравнению с оптимальной происходит, как правило, постепенно. При получении же позитивов с контратипа качество цветного изображения, оставаясь примерно одинаковым в широком интервале экспозиций, резко падает за его пределами.

3. В негативах, соответствующих еще удовлетворительным по качеству цветовоспроизведения оригинальным позитивам и позитивам с контратипа, почти всегда в какой-то мере используются криволинейные участки характеристических кривых негативного материала. Совершенно неудовлетворительные по качеству цветовоспроизведения позитивы обычно получают тогда, когда в одном или двух слоях негативной пленки прямолинейные участки характеристических кривых используются мало, а начальные или конечные — почти полностью.

4. Контроль пригодности негативов для контратипирования в известной мере может быть осуществлен по цветосветовому паспорту оригинального негатива.

5. В целом можно сказать, что изменение экспозиций при съемке в довольно широких пределах мало отражается на качестве цветовоспроизведения как при прямом негативно-позитивном процессе, так и при процессе с промежуточным контратипированием на обрабатываемой пленке.

Авторы выражают благодарность за оказанную помощь в проведении работы руководству киностудии Ленфильм, а также сотрудникам этой студии — оператору И. А. Гольдбергу и инженеру А. С. Шахназаровой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. П. Адашев и Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотографии, VIII, 134, 1962.
- [2] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, 1960.
- [3] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг. Усп. научн. фотографии, II, 85, 1954.
- [4] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова. Усп. научн. фотографии, V, 127, 1957.

IV. МЕТОДЫ СЕНСИТОМЕТРИИ И СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ, В. В. ЛЕВИНА

О РАЦИОНАЛЬНОМ КРИТЕРИИ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЧЕРНО-БЕЛЫХ И ЦВЕТНЫХ НЕГАТИВНЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. История вопроса

На протяжении всей истории фотографической сенситометрии проблема численного выражения светочувствительности фотографических материалов оставалась одной из важнейших задач.

Еще в начале 80-х годов прошлого столетия наш соотечественник Л. В. Варнерке предложил первый, получивший в дальнейшем широкое распространение сенситометр, основанный на общепринятой сейчас шкале освещенности и оценивавший чувствительность по порогу почернения [1, 2, стр. 413]. Создание этого прибора явилось первым шагом на пути стандартизации сенситометрических испытаний.

Классические фотохимические исследования Ф. Хертера и В. Дрифилда [3], проведенные десятилетием позже и заложившие научные основы сенситометрии, одной из основных задач имели изыскание рационального способа количественной оценки светочувствительности фотографических материалов для нужд практической экспонометрии. В качестве критерия светочувствительности была предложена точка инерции, т. е. некоторый параметр прямолинейного участка характеристической кривой. В те времена считалось, что положение точки инерции на оси экспозиций для каждого данного материала не зависит от условий проявления. На протяжении почти полувека этот способ определения светочувствительности был общепринятым, но к 40-м годам он совершенно вышел из употребления.

В 30-х годах американская фирма Вестон, выпускавшая фотоэлектрические экспонометры, предложила в качестве критерия пользоваться оптической плотностью почернения, равной коэффициенту контрастности материала [2, стр. 449]. Нетрудно видеть, что этот критерий есть замаскированная форма точки инерции.¹

Во всех этих случаях руководящая мысль заключалась в том, что оптимальное негативное фотографическое изображение получается за счет использования единственно лишь прямолинейного участка характеристической кривой («области пропорциональной передачи») и что, следовательно, светочувствительность должна оценивать положение этого участка кривой относительно оси экспозиций.

¹ Для прямолинейного участка $D = \gamma (\lg H_D - \lg H_i)$; при $D = \gamma \lg H_D = \lg H_i + 1$.

Последовавшее развитие теории фотографического воспроизведения тонов заставило пересмотреть эту точку зрения. Действительно, при получении позитивных изображений на бумаге, все сорта которой обладают весьма небольшим полным интервалом плотностей, приходится использовать всю ее характеристическую кривую, включая криволинейные начальный и конечный участки. Поскольку условием правильного тона-воспроизведения [4] является соблюдение соотношения

$$g_{\text{neg}} \cdot g_{\text{поз}} = \text{const},$$

неизбежным становится использование криволинейного начального участка характеристической кривой негативного материала [2, стр. 554—555].

При получении позитивных изображений на пленках и пластинках, где обычно полный интервал плотностей значительно больше, чем у бумаг, можно ограничиться использованием лишь прямолинейного участка характеристической кривой позитивного материала и, следовательно, казалось бы, лишь прямолинейным участком кривой негативного материала. Однако и в этом случае дело обстоит сложнее, чем это представляли себе Хертер и Дриффилд. И при съемке негатива, и при проекции диа-изображения на экран имеет место падение контраста изображения из-за светорассеяния в съемочной камере и соответственно в помещении, где производится проекция [2, стр. 543—554]. Говоря сенситометрическим языком, происходит деформация эффективных характеристических кривых негативной и позитивной пленок: протяженность и наклон прямолинейных участков этих кривых уменьшается по сравнению с тем, что имеет место у истинных характеристических кривых. Следовательно, и в этом случае в построении изображения принимают участие криволинейные участки кривых [5].

При таких условиях возникла мысль о том, что светочувствительность фотографического материала надлежит оценивать по положению относительно оси абсцисс начала реально используемой в негативном процессе части характеристической кривой, т. е. по точке на начальном ее участке, характеризующей экспозицию, требуемую для более или менее правильного воспроизведения на снимке наиболее темных сюжетно-существенных частей объекта фотографирования.

Эта тенденция нашла свое выражение в проведенных в 30-х годах исследованиях Р. Лютера [6], которыми в конечном счете был статистически обоснован способ оценки светочувствительности во введенной в 1934 г. (и пересмотренной в 1954 г.) стандартной системе сенситометрии ДИН 4512 [7], и в цикле работ Л. Джонса с сотрудниками [8], давшем аналогичное обоснование для американской стандартной системы сенситометрии АСАZ. 38.2.1,¹ введенной в США в 1947 г. [9] и впоследствии заимствованной рядом западных стран в их национальных сенситометрических стандартах [10]. В первом из этих стандартов критерием светочувствительности служит, как известно, заданное значение ординаты характеристической кривой, а именно диффузная оптическая плотность почернения 0.1 сверх плотности вуали, а во втором стандарте — заданное значение градиента (производной) характеристической кривой, равное 0.3 среднего градиента кривой в интервале экспозиций $\Delta \lg H = 1.5$, начинающемся от вышеуказанной точки кривой. В обоих случаях стандартизовано проявление сенситограмм в течение заданного времени.²

¹ С 1954 г. шифр этого стандарта заменен на РН 2.5.¹

² При этом в стандарте АСА оговорено, что величина среднего градиента должна быть не ниже 0.5, в противном же случае время проявления должно быть увеличено до достижения $g = 0.5$.

В 1945 г. в основном стандарте советской системы сенситометрии ГОСТ-2817 [11] в качестве единого критерия светочувствительности для всех видов материалов, кроме аэрофотографических, было принято заданное значение диффузной плотности $D = 0.2 + D_0$, т. е. величина, близкая к критерию ДИН 4512, при проявлении сенситограммы до заданного («рекомендованного») значения коэффициента контрастности, различного для разных по применению групп фотографических материалов. Обоснованием этого критерия, предложенного в СССР еще в 1935 г. [12], послужили экспериментальные исследования С. С. Гилева [13].

В то же время в том же стандарте в качестве критерия светочувствительности для аэрофотопленок была принята оптическая плотность почернения, отвечающая прямолинейному участку характеристической кривой: $D = 0.85 + D_0$. Тем самым проявилась двойственность в подходе к выбору критерия. В дальнейшем высказывались предложения об использовании критерия, лежащего в верхней части характеристической кривой, и применительно к другим видам фотографических материалов [14], в частности к кинопленкам для изображения [15] и к фототехническим материалам [16], используемым преимущественно для штриховых, а не полутоновых объектов фотографирования.

Так образовались два различных подхода к способу определения светочувствительности негативных материалов. Согласно одному из них, величина светочувствительности характеризуется минимальным количеством освещения, которое позволяет удовлетворительно воспроизвести в позитивном изображении наиболее темные из числа подлежащих воспроизведению элементы объекта фотографирования при хорошем воспроизведении всех более светлых элементов, согласно второму — тем количеством освещения, которое необходимо для оптимального воспроизведения в позитиве средних по яркости и сюжетно наиболее важных элементов объекта фотографирования. В качестве одного из основных аргументов в пользу второго подхода выдвигают [14] то обстоятельство, что фотоэлектрические экспонометры, как правило, служат для измерения обобщенной яркости всего объекта фотографирования и не очень законно отождествляют эту величину со средней яркостью или с яркостью сюжетно важных элементов объекта.

В последнее время К. И. Мархилевич и В. И. Шеберстов [17], стремясь найти выход из создавшегося противоречивого положения, выдвинули остроумное, хотя на первый взгляд и носящее ретроспективный характер, предложение оценивать светочувствительность негативных материалов сразу двумя величинами, определяемыми по исторически самым ранним критериям. Одну из них (S_1) находят по точке инерции. Исходя из нее и зная коэффициент контрастности γ , можно однозначно определить экспозицию, нужную для получения любой плотности почернения D , лигнэ экспозицию, нужную для получения любой плотности почернения D , принадлежащей прямолинейному участку характеристической кривой:

$$H_D = \frac{D}{10^{\frac{D}{S_1}}}.$$

Вторую величину (S_2) находят по прилегающей к порогу почернения плотности — 0.05 или 0.10 сверх плотности вуали. Она должна служить для выбора экспозиции при съемке в тех случаях, когда особое значение имеют темные элементы объекта фотографирования.

В профессиональной художественной кинематографии таким важнейшим в сюжетном отношении элементом признается лицо актера. С помощью осветительных средств оператор управляет яркостью этого элемента объекта и может подерживать ее на заданном постоянном уровне (в отличие от большинства других областей фотокинотехники, где яркость объекта не управляема).

Было проведено несколько сопоставлений чисел светочувствительности, определенных по разным критериям. Джонс и Нельсон [8] сопоставили светочувствительность 78 образцов пленок самого разнообразного происхождения, определяя ее сенситометрически по 6 критериям — точке инерции, $D=0.03$, $D=0.1$ и $D=0.2$ сверх вуали, $g=0.2$ и $g=0.3g$ — и методом практических съемок пейзажей разных типов. Оказалось, что при сравнении практической и сенситометрической светочувствительностей наименьший размах колебаний разностей логарифмов тех и других величин ($\Delta \lg S$) имел место для градиента $g=0.3g$, где $\Delta \lg S=0.17$, а наибольший размах был для точки инерции, где $\Delta \lg S=0.58$. При сравнении сенситометрических светочувствительностей, определенных по разным критериям, с чувствительностью, определенной по $g=0.3g$, оказалось, что наименьший размах колебаний имеет место для критерия $D=0.1+D_0$: он составлял в двух группах опытов соответственно 0.33 и 0.43.

В опубликованном в 1957 г. исследовании Симондса [18] на примере 50 материалов было показано, что расхождения между числами светочувствительности, определенными по системам ДИН и АСА, т. е. по $D=0.1+D_0$ и по $g=0.3g$, при соблюдении требуемых действующими редакциями этих стандартов условий проявления в подавляющем большинстве случаев не превосходят $\Delta \lg S=0.02$, т. е. практически отсутствуют. Этот результат согласуется с данными графического анализа характеристической кривой [19], показавшего, что между различными точками начального участка этой кривой при определенных условиях существует однозначная в пределах, требуемых практикой, связь.

Далее мы коснемся результатов проведенного нами сопоставления разных критериев.

В 1958 г. на сессии Международной организации по стандартизации (ИСО) было выдвинуто предложение о международной стандартизации способа численного выражения светочувствительности негативных черно-белых материалов [20a]. Согласно этому предложению, светочувствительность определяется по плотности почернения $0.1+D_0$ при том условии, что материал проявлен до значения среднего градиента $g=0.7 \pm 10\%$, определяемого по тангенсу угла наклона прямой, соединяющей точки характеристической кривой с ординатами 0.1 и 1.0 ± 0.1 сверх плотности вуали, отстоящие друг от друга вдоль оси экспозиций на расстоянии 1.3 логарифмической единицы.²

Это компромиссное предложение включает в себя большинство основных элементов численного выражения светочувствительности в трех главных сенситометрических стандартах:

- 1) критерием светочувствительности признается заданное значение ординаты характеристической кривой, отвечающее началу используемой части последней (ГОСТ и ДИН);
- 2) проявление сенситограмм проводится до заданной в узких пределах степени контрастности (ГОСТ), а не в течение заданного времени;
- 3) оценка контрастности осуществляется по среднему градиенту в заданном интервале экспозиций (АСА).

На рис. 1 представлены все перечисленные способы определения светочувствительности черно-белых негативных материалов, предусмотренные действующими стандартами или их проектами.

¹ По данным С. С. Гилёва, для большинства материалов определенный таким образом средний градиент $g=0.7$ отвечает значению $\gamma \approx 0.8$.
² Через год после прочтения доклада (апрель 1959 г.) в ИСО поступило из США предложение изменить рекомендуемое значение среднего градиента с 0.7 на 0.62 (что отвечает $\gamma=0.7$) и ужесточить допуск на него до 6%. [20б].

Особое место занимают резольвометрические критерии светочувствительности, предложенные впервые в 1946 г. Л. Е. Хьюлеттом [21], изученные и развитые Г. А. Истоминым [22], а также П. Харихараном [23]. Выра-

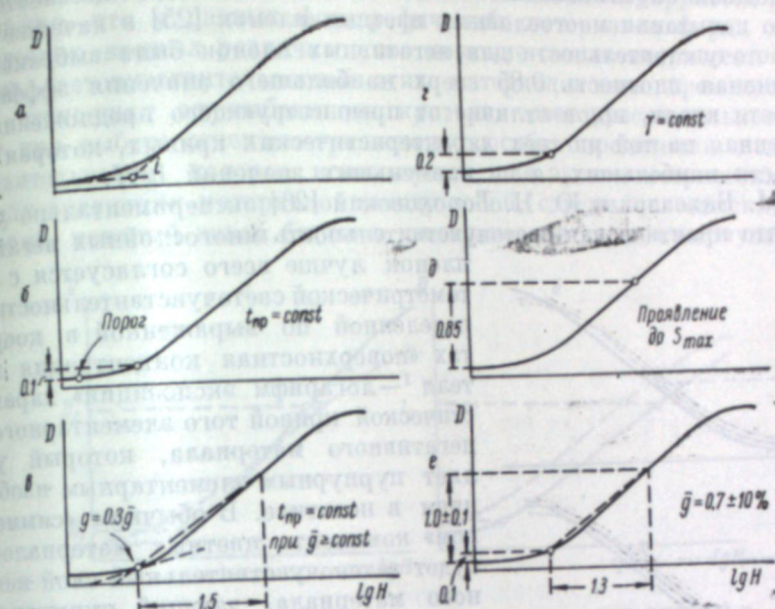


Рис. 1. Сенситометрические критерии светочувствительности черно-белых негативных материалов.

а — критерий Хертера Дрифилла; б — критерий ДИН 4512; в — критерий АСА-РН 2.5; г — основной критерий ГОСТ 2817; д — второй критерий ГОСТ 2817; е — критерий проекта ИСО (1958).

жение светочувствительности подобным образом может производиться, например, по экспозиции, при которой предельно разрешаемая частота f_{max} параллельных штрихов составляет заданную долю от разрешаемой частоты при оптимальной экспозиции, т. е. от фотографической разрешающей способности R (скажем $f_{max}=0.9R$) или равна заданной абсолютной величине (скажем $f_{max}=7 \text{ мм}^{-1}$). Рис. 2 иллюстрирует сказанное. Этот способ определения светочувствительности имеет значение в основном для тех областей фотографии, где от фотографического снимка требуется большая полнота информации о мелких деталях объекта фотографирования, в особенности для аэрофотографии и некоторых других технических применений фотографического процесса.

Весьма мало освещен в литературе вопрос о численном выражении светочувствительности многослойных цветных материалов как единого целого.

Г. С. Баранов [24] предложил определять светочувствительность негативных материалов по той из трех выраженных в координатах «эффективная (копировальная) плотность — логарифм экспозиции» характеристических кривых, которая расположена в области

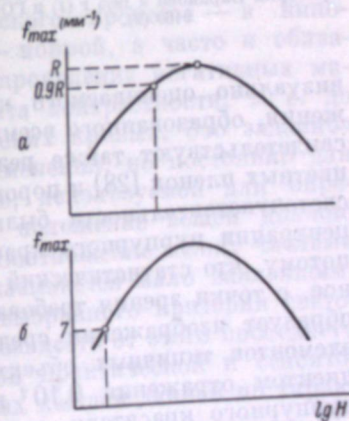


Рис. 2. Резольвометрические критерии светочувствительности черно-белых негативных материалов.

а — относительная частота штрихов;
б — абсолютная частота штрихов.

наименьших значений $\lg H$. Критерием на этой кривой служит эффективная плотность $D_{эф}$, на 0.85 превышающая наибольшую из трех значений эффективную плотность вуали.

В недавно опубликованном ГОСТе 9160-59 на метод общесенситометрического испытания многослойных цветных пленок [25] в качестве критерия светочувствительности для негативных пленок была выбрана та же эффективная плотность 0.85 сверх наибольшего значения эффективной плотности вуали, но, в отличие от предшествующего предложения, расположенная на той из трех характеристических кривых, которая лежит в области наибольших, а не наименьших значений $\lg H$.

В. М. Бахвалов и Ю. Н. Гороховский [26] экспериментально установили, что практическая светочувствительность многослойных негативных

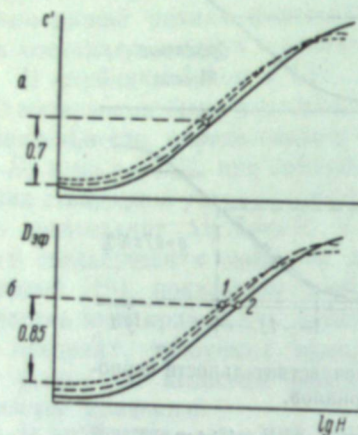


Рис. 3. Сенситометрические критерии светочувствительности многослойных цветных негативных материалов.

а — критерий, предложенный нами; б — критерий Баранова в 1955 г (1) и ГОСТ 9160 (2).

пленок лучше всего согласуется с сенситометрической светочувствительностью, определенной по выраженной в координатах «поверхностная концентрация красителя¹—логарифм экспозиции» характеристической кривой того элементарного слоя негативного материала, который управляет пурпурным элементарным изображением в позитиве. В обычном «симметричном» комплекте цветных материалов это будет зеленочувствительный слой негативного материала, дающий пурпурное же изображение. Причина указанного соответствия заключается в том, что яркостный контраст позитивного изображения, являющийся самым важным признаком его качества, определяется в первую очередь пурпурным изображением, поглощающим в наибольшей степени как раз те зеленые и желтые излучения, к которым более всего чувствителен светлоадаптированный глаз. Об особой роли пурпурного элементарного изображения в формировании

визуально оцениваемого контраста цветного фотографического изображения, образованного всеми тремя красителями многослойного процесса, свидетельствуют также результаты изучения разрешающей способности цветных пленок [28] и порогов цветоразличения [29]. В качестве критерия светочувствительности была предложена величина $c'_n = 0.7$ сверх концентрации пурпурного красителя в вуали. Эта величина была выбрана потому, что статистический анализ показал, что первое удовлетворительное, с точки зрения требований цветной печати, негативное изображение образует изображения средних по яркости серых и мало окрашенных элементов типичных объектов фотографирования, обладающих коэффициентом отражения 0.10^2 именно такой поверхностной концентрацией пурпурного красителя, лежащей на прямолинейном участке характеристической кривой соответствующего слоя.

На рис. 3 представлены упомянутые способы определения общей светочувствительности цветных негативных материалов.

2. Постановка задачи

Рассматривая вопрос о желательном критерии светочувствительности негативных материалов, обычно исходят из того иллюстрируемого рис. 4, а положения, что у разных фотографических материалов форма характеристических кривых различна и соотношение сенситометрически определяемых светочувствительностей этих материалов есть переменная величина, зависящая от выбранного критерия светочувствительности. Поэтому при выборе сенситометрического способа определения числа светочувствительности, которое используется для экспонетрических целей или для сравнения материалов между собой, стремились отыскать такой критерий, который давал бы сенситометрические числа светочувствитель-

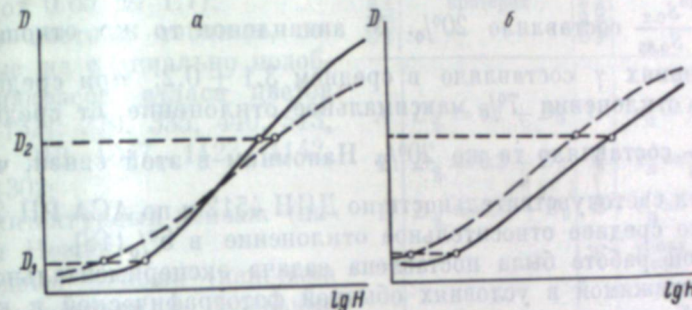


Рис. 4. Схема, иллюстрирующая ранее существовавшее (а) и современное (б) соотношение между характеристическими кривыми двух материалов одной области применения, сравниваемых по светочувствительности.

ности, в наибольшей степени согласующиеся с величинами относительной практической светочувствительности этих материалов.

Между тем к настоящему времени само это положение в значительной мере перестало соответствовать существующему состоянию дела. В важнейших областях применений фотографического процесса — в кино-технике, аэрофотографии и многих других — нормой, а часто и обязательным к применению правилом является проявление негативных материалов до заданного значения коэффициента контрастности, т. е. до примерно одинаковой формы характеристических кривых. Это заданное значение γ различно в разных областях применений, но постоянно для каждой группы фотографических материалов, используемой для определенной цели. Следовательно, фактическое положение вещей должно иллюстрироваться не рис. 4, а, а рис. 4, б. Соотношение между числами сенситометрической светочувствительности оказывается мало зависящим, а в ряде случаев и вовсе не зависящим от выбранного критерия светочувствительности. Следовательно, не должно зависеть от этого последнего и соотношение между числами относительной практической и сенситометрической светочувствительностей в пределах каждой данной по характеру применения группы фотографических материалов.

Использование чисел сенситометрической светочувствительности для экспонетрических целей преследует задачу получения на разных объектах материалов одинаковых по качеству изображений однотипных объектов. Естественно, что это лучше всего достигается при одинаковой форме и наклоне характеристических кривых негативных материалов, и именно поэтому техника движется в сторону нормирования значений γ . Едва ли кто-нибудь станет непосредственно, без контрольной съемки, использовать для экспонетрических целей числа светочувствительности материалов разного

Свидетельством нового положения, сложившегося в вопросе о рациональном численном выражении светочувствительности, могут служить, в частности, следующие данные для черно-белых материалов. Мы сопоставили числа светочувствительности, определенные по двум критериям — $D=0.2+D_0$ и $D=0.85+D_0$ — для 18 образцов негативных киноплёнок, проявленных до $\gamma=0.65$, и для 18 образцов авиаплёнок, проявленных до значений γ , лежащих между 1.15 и $\gamma_{\max}$. Оказалось, что отношение

В данной работе была поставлена задача экспериментально, с точностью, достижимой в условиях обычной фотографической и кинематографической практики, удостовериться в правильности вышеприведенных положений о равноценности, с экспонетрической точки зрения, различных сенситометрических критериев светочувствительности черно-белых и многослойных цветных негативных пленок

4. Методика исследования

Для определения сенситометрической светочувствительности всех испытываемых материалов служили сенситограммы, экспонированные в сенситометре ФСР-4 с фильтром искусственного дневного света [31]. Сенситограммы были проявлены совместно с сериями негативов, служивших для определения практической светочувствительности. Черно-белые пленки проявлялись до достижения $\gamma = 0.65 - 0.67$ для киноплёнок и $\gamma = 0.65 \pm 0.05$ или $\gamma = 0.9 \pm 0.1$ для фотоплёнок. Цветные пленки проявлялись в течение заданных времен ($t_{пр}$), составлявших для киноплёнок 6 мин. и для фотоплёнок 6 и 10 мин. и дававших значения коэффициента контрастности соответственно от 0.55 до 0.85 или от 0.8 до 1.2. Черно-белые сенситограммы измеряли на фотоэлектрическом денситометре ДФЗ-10, а цветные сенситограммы — на фотоэлектрическом спектрофотометре СФ-4, снабженном микропроекционной приставкой для сенситограмм. Измерения на спектрофотометре производились при длинах волн 440, 530 и 690 мкм; с помощью системы трех линейных уравнений [27] по измеренным значениям монохроматических плотностей вычисляли приведенные к серому поверхностные концентрации красителей c' (величины ФЭСП) или эффективные (копировальные) плотности цветных полей в целом $D_{эф}$.

Числа светочувствительности выражались в $\text{лк}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$. Определение практической светочувствительности производилось по методике, сходной с описанной ранее [26], путем съемки ряда объектов при различных, определенным образом нормированных экспозициях.

Таблица 1

Применявшиеся критерии светочувствительности

- 1) 8-полюсная шкала серых тонов (D_r от 0.05 до 1.7);
- 2) две цветные таблицы, составленные из специально подобранных накресок атласа цветов Баумана [32]: 279, 335, 440, 513, 632, 882, 912, 1047, 1123, 1142, 1222 и 1302;

4) водный пейзаж (панорама Невы с колоннами и деревьями на первом плане);

6) вид удаленного города (панорама Ленинграда с главной башни Пулковской обсерватории; расстояние до основных элементов пейзажа — около 10 км);

8) два загоризированных лица на сером фоне.

оставили около 50 000 лк. Все эти объекты были предметом как кино-, так и фотосъемок. Киносъемки производились профессиональной киносъемочной камерой «Дебри-Л», снабженной просветленными объективами Кука ($f=75$ мм 1 : 2.6) и «РО-56—1» ($f=35$ мм 1 : 2.4). Шкалы диафрагм объективов были прокалиброваны в физических (эффективных) относительных отверстиях $1 : z = \frac{\sqrt{\tau_0}}{z_0}$, где z_0 — геометрическое (номинальное) относительное отверстие, а τ_0 — коэффициент пропускания объектива; калибровка производилась с помощью специальной фотоэлектрической установки цеха съемочной техники киностудии Ленфильм. Раскрытие затвора всегда было полным (133°), что отвечало выдержке $\frac{1}{64}$ сек.

¹ Съемки на открытом воздухе производились в пасмурную погоду.

чувствительности

Черно-белые пленки		Цветные пленки	
обозначение	критерий	обозначение	критерий
A	$D_{\neq} = 0.1 + D_0$	Г	$c'_{\Pi} = 0.1 + c'_{\Pi_0}$
Б	$D_{\neq} = 0.2 + D_0$	Д	$c'_{\Pi} = 0.2 + c'_{\Pi_0}$
В	$D_{\neq} = 0.85 + D_0$	Е	$c'_{\Pi} = 0.85 + c'_{\Pi_0}$
		Ж	$D_{\text{эф.}}^{\text{max}} = 0.85 + D_{\text{эф.}}^{\text{max}}$

Фотосъемки производились одновременно с киносъемками малоформатной зеркальной камерой «Зенит» с просветленным объективом «Гелиос 44» ($f=58$ мм $1:2.3$), шкала диафрагм которого была прокалибрована в физических относительных отверстиях аналогично киносъемочным объективам; для съемки вида удаленного города (объект 6) служил объектив «Гелиос 27» ($f=135$ мм $1:2.0$). Выдержка всегда была 0.02 сек. и оставалась неизменной в пределах нескольких процентов.

Съемка на черно-белых материалах всех объектов, кроме удаленного, и на цветных материалах (за исключением особых случаев, упомянутых далее) производилась без цветных фильтров на объективе. Лишь черно-белые съемки объекта 6 велись с желтым светофильтром из стекла ЖС-18 (кратность для красочувствительных материалов около 2.0).

Съемки каждого объекта проводились при разнообразных физических относительных отверстиях, начиная от полного раскрытия диафрагмы до $1:16$. Далее путем установки дополнительного строго серого платинового фильтра с плотностью 1.0 еще расширяли диапазон освещенностей на слое (как бы уменьшая относительные отверстия вплоть до $1:50$). Ступени изменения относительных отверстий составляли $\sqrt[3]{2}$, что отвечало изменению освещенности в $\sqrt{2}$ раз. Общий интервал освещенностей был, следовательно, около $1:500$. Каждый ряд негативов состоял, таким образом, из 19 или меньшего числа различных по плотности изображений — от сильно передержанных до сильно недодержанных.

Все виды негативов проявлялись в производственных проявочных машинах: черно-белые пленки — до достижения заданных значений коэффициента контрастности, а цветные пленки — в течение заданных времен.

Печать с кионегативов производилась в производственных условиях киностудии Ленфильм на черно-белой позитивной пленке МЗ при $\gamma \approx 2.5$ или на цветной пленке ЦП-1 при $\gamma \approx 2.5$ до достижения наилучших (по оценке опытного свето- или цветоустановщика) результатов.

Печать с фотонегативов производилась в увеличителе «Сфера» на бумагу формата 9×12 см: черно-белую «Унибром» того или иного номера контрастности (№ 3—№ 7) соответственно контрастности негатива и цветную «Фотоцвет-1» или более контрастную «Фотоцвет-2» — также до достижения наилучшего результата.

Оценка рядов позитивов производилась независимо пятью-шестью наблюдателями при освещенности около 1000 лк, создаваемой люминесцентными лампами дневного света. Каждый наблюдатель находил первый со стороны малых экспозиций при съемке хороший позитив: кинокадр или отпечаток. Найденные разными наблюдателями значения $z_{\max}$ усреднялись. Расхождения между оценками отдельных наблюдателей составляли для черно-белых снимков $\pm 7\%$ от величины $z_{\max}$ и для цветных снимков $\pm 9\%$, т. е. примерно одну ступень в нашем ряду относительных отверстий объектива.

По значениям $z_{\max}$ определялась в относительных единицах практическая светочувствительность

$$S_{\text{пр}} = k \frac{z_{\max}^2}{E_0 t},$$

где k — коэффициент; E_0 — освещенность на объекте,¹ t — выдержка.

¹ В тех случаях, когда при съемке контролировалась яркость объекта, за освещенность на нем принималась величина, в пять раз большая (исходя из того, что общий коэффициент яркости данных объектов близок к 0.2).

4. Используемые фотографические материалы

Объектами исследования, проводившегося независимыми сериями в 1957 и в 1958—1959 гг., служили по пять-шесть образцов высокосенсибилизированных черно-белых и, соответственно, цветных многослойных негативных кинопленок, различавшихся светочувствительностью настолько сильно, насколько это было достижимо (табл. 2).

Таблица 2

Сенситометрическая светочувствительность исследованных материалов (лк⁻¹ сек.⁻¹, округленные значения)

Тип пленок	Сенситометрические условия	Опыты 1957 г.		Опыты 1958—1959 гг.	
		Пленка	$S_{\text{сенси}}$	Пленка	$S_{\text{сенси}}$
Черно-белые	$\gamma = 0.65$, критерий $D = 0.2 + D_0$	МЗ-2, эм. 174	11	МЗ, эм. 15468	32
		МЗ, эм. 3570	32	АМ-1, эм. 15812	45
		АМ-1, эм. 1303	45	Б, эм. 3566	65
		А-2, эм. 3186	45	В, эм. 7184	65
		В, эм. 1770	110	Д, эм. 15484	180
Цветные	$t_{\text{пр}} = 6$ мин., критерий $c_n = 0.2 + c'_{n_0}$	ДС-2, эм. 094	22	ДС-2, эм. 758	11
		ДС-2, эм. 0945	32	ДС-2, эм. 786	16
		ДС-2, эм. 2757	32	ДС-2, эм. 86	22
		ЛН-3, эм. 2770	32	ЛН-2, эм. 188	16
		ЛН-3, эм. 80	45	ЛН-3, эм. 80	16
				ЛН-3, эм. 204	16

Из всех этих пленок цветные пленки ЛН-2 и ЛН-3, специально предназначенные для света ламп накаливания, не использовались для съемок на открытом воздухе и для павильонных съемок при дуговом свете.

Цветные же пленки ДС-2, предназначенные для дневного и дугового света, использовались для павильонных съемок при лампах накаливания со стеклянным трехкомпонентным фильтром дневного света, надевавшимся на объектив для преобразования спектрального состава освещающего излучения. Возникавшее падение освещенности в два с половиной раза (визуальный коэффициент пропускания фильтра равен 0.40) можно отождествить с уменьшением светочувствительности этих материалов и, следовательно, с расширением интервала светочувствительностей, использовавшегося в данной работе.

5. Результаты опытов

Итак, было проведено шесть групп опытов практического фотографирования. Для черно-белых материалов: а) киносъемки, $\gamma = 0.65$; б) фотосъемки, $\gamma = 0.65$; в) фотосъемки, $\gamma = 0.9$. Для многослойных цветных материалов: г) киносъемки, $t_{\text{пр}} = 6$ мин., $\gamma = 0.7 \pm 0.15$; д) фотосъемки, $t_{\text{пр}} = 6$ мин., $\gamma = 0.7 \pm 0.15$; е) фотосъемки, $t_{\text{пр}} = 10$ мин., $\gamma = 0.9 \pm 0.2$.

Полученные для каждого из объектов при различных видах освещения значения практической светочувствительности фотографических материалов $S_{\text{пр}}$ сопоставлялись со значениями сенситометрической светочувствительности этих же материалов $S_{\text{сенси}}$, определенной по каждому из критериев, перечисленных в табл. 1. Для этого вычислялись отношения $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$, далее для краткости обозначаемые буквой P .

Отношение сенситометрической светочувствительности цветных киноплёнок, определенной по разным критериям, к их практической светочувствительности (одна из серий опытов)

Фотографируемый объект	Свет	Сенситометрический критерий	$P_i = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$					Среднее значение P для всех материалов по данному критерию	Среднее отклонение $\frac{\Delta P_i}{P}$ (%)
			ДС-2, эм. 094	ДС-2, эм. 0945	ДС-2, эм. 2757	ЛН-3, эм. 2770	ЛН-3, эм. 80		
Школа серых тонов	дневной	Г	33	83	75	—	—	78 46 41 33	35 35 30 30
		Д	20	50	39	—	—		
		Е	29	18	34	—	—		
	Ж	Ж	19	27	25	—	—		
		Г	54	110	170	—	—		
		Д	32	67	88	—	—		
	дуговой	Е	47	25	77	—	—		
		Ж	31	36	57	—	—		
	ламп накаливания	Г	—	—	80	42	58		
		Д	—	—	41	29	44		
		Е	—	—	36	27	80		
		Ж	—	—	27	17	55		
Цветная таблица	дневной	Г	13	25	24	—	—	48 30 28	45 45 55
		Д	8.0	15	12	—	—		
		Е	12	6.0	11	—	—		
	Ж	Ж	8.0	8.0	8.0	—	—		
	дуговой	Г	43	100	—	—	—		
		Д	26	60	—	—	—		
		Е	38	22	—	—	—		
	Ж	Ж	25	32	—	—	—		
	ламп накаливания	Г	—	—	75	50	53		
		Д	—	—	39	35	40		
		Е	—	—	34	32	73		
		Ж	—	—	25	20	50		

Критерии: $G - c'_n = 0.1 + c'_n$; $D - c'_n = 0.2 + c'_n$; $E - c'_n = 0.85 + c'_n$; $Ж - D_{\text{эф}}^{\text{max}} = 0.85 + D_{\text{эф}}^{\text{max}}$.
Средние отклонения для всех объектов и материалов: $G - 40\%$, $D - 40\%$, $E - 45\%$, $Ж - 40\%$.

оно составляет 35%, падая иногда до 15—20%. К тому же оно не носит систематического характера. Нельзя обнаружить зависимости величины P ни от характера фотографируемого объекта, ни от свойства негативного фотографического материала, ни от условий проявления последнего. Дело заключается, по-видимому, в низкой точности нахождения величины практической светочувствительности даже в условиях весьма тщательного проведения фотографического процесса. А это в свою очередь указывает на то, что наблюдаемыми колебаниями, лежащими внутри точности обычного фотографического процесса, можно пренебречь.

Сопоставление отношений $P = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$ при использовании разных критериев светочувствительности также не обнаруживает каких-либо ощутимых различий в колебаниях этой величины и, следовательно, не позволяет признать за тем или иным сенситометрическим критерием каких-либо преимуществ при использовании найденных по нему чисел светочувствительности для экспонетрических целей.

Степень постоянства этих отношений P_i у разных (i -ых) образцов материалов при одном и том же критерии светочувствительности служит мерой пригодности данного критерия для сенситометрического определения светочувствительности. Чем среднее относительное отклонение $\frac{\Delta P_i}{P}$ для определенного критерия будет меньшим, тем совершеннее, с точки зрения практики фотографирования, будет этот критерий.

Из-за невозможности привести в статье весь экспериментальный материал по всем шести группам опытов мы ограничиваемся тем, что в табл. 3—5 приводим для примера подробные данные о величинах $P_i = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$ для двух групп опытов — для черно-белых и цветных кинофильмов — и о средних величинах $\frac{\Delta P_i}{P}$.

Наконец, в табл. 6 для всех шести групп опытов представлены результирующие величины средних отклонений $\frac{\Delta P_i}{P}$ в пределах каждой группы опытов и каждого критерия светочувствительности.

Таблица 3

Отношение сенситометрической светочувствительности черно-белых киноплёнок, определенной по разным критериям, к их практической светочувствительности (одна из серий опытов)

Фотографируемый объект	Свет	Сенситометрический критерий	$P_i = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$					Среднее значение P для всех материалов по данному критерию	Среднее отклонение $\frac{\Delta P_i}{P}$ (%)
			МЗ-2	МЗ	АМ-1	А-2	В		
Шкала серых тонов	Дневной	А	11	17	13	23	23	17	25
		Б	7.5	13	9.0	15	16	12	25
		В	8.0	21	11	19	18	15	30
Лицо	Дневной	А	14	20	15	37	53	27 19 24	40 35 30
		Б	9.5	15	11	25	35		
		В	10	25	13	31	40		
	Ламп накаливания	А	—	17	19	37	35		
		Б	—	13	14	25	23		
		В	—	21	16	31	27		
Натюрморт	Ламп накаливания	А	20	50	39	40	38	37	20
		Б	14	30	21	25	23	23	20
		В	17	19	12	43	40	26	45
Лесной пейзаж	Дневной	А	10	14	21	43	27	23 13 11	40 45 40
		Б	6.0	7.5	11	26	16		
		В	8.0	9.0	7.0	18	13		
Архитектурный пейзаж	Дневной	А	—	11	14	32	32	11	40
		Б	—	6.0	7.0	20	19		
		В	—	7.0	4.5	14	16		

Критерии: $A - D = 0.1 + D_0$; $B - D = 0.2 + D_0$; $V - D = 0.85 + D_0$.
Средние отклонения для всех объектов и материалов: $A - 30\%$, $B - 30\%$, $V - 35\%$.

Мы видим, что для разных объектов фотографирования и разных фотографических материалов соотношение между сенситометрической и практической светочувствительностями различно. Однако это различие не очень велико и его среднее значение не превышает 60—65%; в среднем

Таблица 5

Отношение сенситометрической светочувствительности цветных киноплёнок, определенной по разным критериям, к их практической светочувствительности (одна из серий опытов)

Фотографируемый объект	Свет	Сенситометрический критерий	$P_i = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$					Среднее значение P для всех материалов по данному критерию	Среднее отклонение ΔP (%)		
			ДС-2, ам. 094	ДС-2, ам. 0945	ДС-2, ам. 2757	ЛН-3, ам. 2770	ЛН-3, ам. 80				
Лицо	Дневной	Г	31	25	19	—	—	97	35		
		Д	18	15	10	—	—				
		Е	27	22	8.5	—	—				
		Ж	18	32	6.0	—	—				
	Дуговой	Г	108	125	190	—	—			57	
		Д	65	75	100	—	—				
		Е	95	27	90	—	—				
		Ж	62	40	67	—	—				
	Ламп накаливания	Г	—	—	150	100	116			43	
		Д	—	—	77	70	88				
		Е	—	—	68	16	40				
		Ж	—	—	50	10	27				
Натюр-морт	Дуговой	Г	54	100	—	—	—	82	30		
		Д	32	60	—	—	—				
		Е	47	22	—	—	—				
		Ж	31	32	—	—	—				
	Ламп накаливания	Г	—	—	120	63	72			52	
		Д	—	—	62	43	55				
		Е	—	—	54	40	100				
		Ж	—	—	40	25	69				
	Лесной пейзаж	Г	—	33	—	—	—			41	25
		Д	—	20	—	—	—				
		Е	—	7.0	—	—	—				
		Ж	—	10	—	—	—				
Архитектурный пейзаж	Г	54	33	55	—	—	21	65			
	Д	32	20	28	—	—					
	Е	47	7.0	25	—	—					
	Ж	31	10	18	—	—					

Критерии: $G - c'_n = 0.1 + c'_n$; $D - c'_n = 0.2 + c'_n$; $E - c'_n = 0.85 + c'_n$; $J - D_{\text{эф}}^{\text{max}} = 0.85 + D_{\text{эф}}^{\text{max}}$.

Среднее отклонение для всех объектов и материалов: $G - 35\%$, $D - 35\%$, $E - 55\%$, $J - 45\%$.

Следовательно, при соблюдении достаточно строгих сенситометрических норм проявления, т. е. при единообразии формы характеристических кривых разных материалов ($\gamma = \text{const}$), все рассмотренные нами сенситометрические критерии равноценны.

Выводы

Проведены нормированные фото- и киносъемки большого числа разнообразных по характеру объектов на десяти черно-белых и одиннадцати цветных негативных пленках разной чувствительности, и по позитивным изображениям определена их практическая светочувствительность. Последняя сопоставлена с числами сенситометрической светочувствительности, определенными по разным критериям.

Таблица 6

Степень неостояния величин $P_i = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{пр}}}$ в каждой группе опытов при использовании разных критериев сенситометрической светочувствительности (%)

Вид пленок	Критерий (табл. 1)	Год проведения опытов	Кино-съемки	Фотосъемки			
				близкие объекты		удаленные объекты	
				коэффициент контрастности			
				T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
Черно-белые	А	1957	30	30	—	—	—
		1958/59	35	30	25	35	45
	Б	1957	30	30	—	—	—
		1958/59	40	30	35	35	45
	В	1957	35	30	—	—	—
		1958/59	45	30	45	40	65
Цветные	Г	1957	35	30	20	—	—
		1958/59	30	25	30	20	40
	Д	1957	35	30	20	—	—
		1958/59	30	30	30	20	45
	Е	1957	55	45	35	—	—
		1958/59	40	30	30	15	40
	Ж	1957	45	45	40	—	—
		1958/59	30	25	40	20	40

Показано, что при сенситометрически нормированных условиях проявления ($\gamma = \text{const}$) все исследованные критерии светочувствительности с экспонометрической точки зрения равноценны. Выбор того или иного критерия должен опираться, следовательно, не на экспонометрические соображения, а на соображения метрологической целесообразности.

Авторы считают своим долгом выразить признательность техническому руководству киностудии Ленфильм за широкое содействие, оказанное в проведении опытов с киноплёнками на базе студии, а также кинооператору И. А. Гольдбергу и цветоустановщику инженеру А. С. Шахназаровой за деятельное участие в указанной работе и исключительную тщательность в ее проведении.

В работе принимал участие техник-лаборант К. Н. Воскресенский.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. И. Срезневский, Фотограф, 3, 33—40, 1882.
- [2] К. Миз. Теория фотографического процесса. ГТТИ, 1949.
- [3] F. Hurter, V. Driffeld, Journ. Soc. Chem. Ind., 9, 455; 1890; 10, 100, 1891; Br. Journ. fotogr., 40, 456—461, 1893.
- [4] Е. Гольдберг. Образование фотографического изображения. Изд. «Огонек», М., 1929.
- [5] И. Б. Блюмберг, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1, 429—438, 1956.
- [6] R. Luther, Trans. Faraday Soc., 19, 340—348, 1923; Bericht d. VIII int. Kongress f. Photographie, Dresden, 1931, стр. 102—112; R. Luther, H. Staudе, ZS wiss. Photogr., 34, 40—53, 1935.
- [7] DIN 4512. Negativmaterial für bildmässige Photographie. Bestimmung der Lichtempfindlichkeit, 1934.

- [8] L. A. Jones, M. E. Russell, Proc. VII int. Congress of Photography, London, 1928, стр. 130—143; Journ. Opt. Soc. Am., 25, 396—411, 1935; L. A. Jones, Journ. Franklin Inst., 227, 297—354, 497—544, 1939; L. A. Jones, C. N. Nelson, Journ. Opt. Soc. Am., 30, 93—109, 1940.
- [9] PH2. 5—1954. American Standard Method for Determining photographic Speed and Exposure Index.
- [10] BS 1380:1947 (Англия); CSA Z7. 0.2.2—1954 (Канада); NFS 20.001, 1954 (Франция). См. также: JIS, K-7604, 1953 (Япония).
- [11] ГОСТ 2817—50. Фотографические материалы на прозрачной подложке. Метод общесенситометрического испытания.
- [12] Ю. Н. Гороховский, Кинофотохим. промышл., 5, вып. 7, 33—35, 1939; Журн. техн. физики, 16, 55—70, 1946.
- [13] С. С. Гилёв, Журн. техн. физики, 16, 159—170, 1946; Усп. научн. фотографии, IV, 7—16, 1955.
- [14] Г. А. Истомин, Труды ЦНИИГАиК, вып. 82, 25—41, 1951; Усп. научн. фотографии, IV, 17—22, 23—28, 1955.
- [15] В. Г. Пелль, Усп. научн. фотографии, IV, 54—60, 1955.
- [16] К. В. Вендровский, Б. А. Шашлов, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 293—294, 1958.
- [17] К. И. Мархилевич, В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотографии, V, 161—181, 1957.
- [18] J. L. Simonds, Photogr. science a. engin., 1., 28—30, 1957.
- [19] C. N. Nelson, J. L. Simonds, Journ. Opt. Soc. Am., 46, 324—333, 1956; J. L. Simonds, Phot. science a. engin., 2, 205—209, 210—212, 1958.
- [20] И. А. Черный, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., а) 4, 313—316, 1959; б) 5, 158—159, 1960.
- [21] L. E. Howlett, Canad. Journ. research. [A], 24, 1—7, 1946.
- [22] Г. А. Истомин, В. И. Шеберстов, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 450—451, 1958.
- [23] P. Hariharan, Journ. Opt. Soc. Am., 45, 60—62, 1955.
- [24] Г. С. Баранов, Сб. «Цветная кинематография», М., 1955.
- [25] ГОСТ 9160—59. Фотографические материалы на прозрачной подложке. Метод общесенситометрического испытания многослойных цветофотографических материалов.
- [26] В. М. Бахвалов, Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотографии, IV, 29—43, 1955.
- [27] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Усп. научн. фотографии, V, 127—144, 1957.
- [28] Ю. Н. Гороховский, П. Х. Прусс, Журн. техн. физики, 25, 221—235, 1955.
- [29] Ю. Н. Гороховский, К. Б. Попова, Докл. АН СССР, 107, 63—66, 1956; Г. Н. Раутиан, Н. В. Лобанова, Н. И. Сперанская, Усп. научн. фотографии, V, 145—160, 1957.
- [30] Е. Л. Кринов, Спектральная отражательная способность природных образований. Изд. АН СССР, М., 1947.
- [31] Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотографии, IV, 295—306, 1955.
- [32] Baumanns neue Farbtonkarte. System Prase.

Э. Д. КАЦЕНЕЛЕНБОГЕН, Г. С. БАРАНОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗЫСКАНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ ВЫРАЖЕНИЯ ОБЩЕЙ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЧЕРНО-БЕЛЫХ И ЦВЕТНЫХ НЕГАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В фотографической сенситометрии существуют две различные оценки понятия светочувствительности фотографического материала. Одна из них относится к применению фотографических материалов, и результаты такой оценки мы будем называть фотографической или экспонометрической чувствительностью. Другая оценка касается производства фотографических материалов и их сравнения между собой, т. е. является производственно-технологической (сравнительной) оценкой; результаты такой оценки мы будем называть сравнительной светочувствительностью. Величина фотографической (экспонометрической) чувствительности должна служить для определения правильной экспозиции при практическом фотографировании. Здесь предполагается сопоставление этой величины с показаниями экспонометра.

Критерий фотографической (экспонометрической) чувствительности должен учитывать конкретное назначение данного типа светочувствительного материала и требования, предъявляемые к данному виду съемки. Экспонометрическими критериями могут быть плотности, отвечающие сюжетно важным частям изображения, определенной передаче деталей яркости, разрешающей способности и т. д.

Для отдельных групп материалов близкого назначения критерии экспонометрической чувствительности могут объединяться. В общем случае надо считать принципиально невозможным объединение критериев для материалов существенно различного назначения: для полутониров для материалов (художественной, любительской, документальной), для фотографии, предназначенной для получения штриховых изображений, для звукозаписи, для различных видов научной фотографии (астрономии и пр.) должны существовать свои специфические критерии. Авторы большинства работ, посвященных критерию светочувствительности фотографических материалов, исходили из фотографической (экспонометрической) концепции [1, 2].

Ф. Хертер и В. Дрифилд предложили критерий светочувствительности, не имеющий в современном понимании непосредственного экспонометрического назначения, поскольку точка инерции непосредственно не связана соответствующую ей экспозицию ни с какой-либо определенной точкой характеристической кривой, ни с разрешающей способностью или определенной деталью яркости и др. Эта связь может быть найдена путем пересчета для любого значения плотности D , лежащего в пределах пря-

молинейного участка, при известном значении коэффициента контрастности γ [3].

Сравнительная оценка светочувствительности фотографических материалов применяется для того, чтобы сопоставить между собой самые различные светочувствительные слои независимо от их назначения. Это делается для того, чтобы предварительно ориентировать технологическую разработку и т. п. Такая оценка всегда соответствует области недодержки характеристической кривой. Непосредственного фотографического значения такого рода светочувствительность не имеет. Не имеется в ней также и определенного физического смысла, за исключением, пожалуй, точки инерции, определяемой для случая безбромидного проявления. Физика и технолога-эмульсионера, по существу, интересует скрытое изображение как функция экспозиции, т. е. характеристика слоя, не зависящая от условия проявления.

Однако пока нет физических методов непосредственного измерения скрытого изображения, в качестве паллиативного метода применяют оптимальное или стандартизуемое проявление. К сравнительной светочувствительности не следует предъявлять экспонетрических требований, и эта величина, вообще говоря, не нужна при практическом применении материала. В отдельных случаях критерий оценки сравнительной светочувствительности может совпадать с критерием экспонетрической чувствительности. Для оценки такой сравнительной (технологической) чувствительности должен применяться один критерий, отличный от критерия определения фотографической чувствительности. Здесь надо исходить или из чисто физических представлений о механизме образования фотографического изображения, или просто задаться какой-либо величиной плотности, близкой к порогу, или точкой инерции.

Точка инерции или любая плотность на прямолинейном участке характеристической кривой имеет в этом отношении большие преимущества. Допуская линейную зависимость между D и $\lg H$, можно считать, что при проявлении материала до постоянного значения γ число S_i будет однозначно характеризовать фотографический материал. Недостатком величины S_i является то, что не все характеристические кривые имеют прямолинейный участок.

В излагаемой здесь работе НИКФИ велось исследование фотографической чувствительности, т. е. числа, служащего для определения экспозиции при практической съемке. Вопрос о выборе критерия фотографической светочувствительности мы решали, исходя из цели получения киноизображения. Мы проводили сопоставление сенситометрической чувствительности, определявшейся по разным критериям, с практической чувствительностью цветных и черно-белых киноплёнок.

Определение сенситометрической чувствительности

Применялись сенситометр ЦС-2 и денситометр ЦД-4. Сенситограммы обрабатывались совместно с материалом киносъемок на проявочных машинах до заданных значений коэффициента контрастности, которые варьировали от 0.45 до 0.85 (черно-белые пленки) и от 0.55 до 0.85 (цветные пленки).

Сенситометрическая чувствительность определялась в основном по критериям 0.85 и 0.2 над вуалью, а в ряде опытов также по $D=0.1-D_0$ и по точке инерции. Для цветных киноплёнок сенситометрическая чувствительность, кроме того, выражалась двумя значениями, находимыми как по наиболее высоколежащим характеристическим кривым (S_{max}), так и по самым низколежащим кривым (S_{min}).

Определение практической чувствительности

Определение практической чувствительности производилось путем экспериментальных натурных киносъемок портрета, пейзажа и серой шкалы при солнечном свете и павильонных киносъемок портрета, натюрморта и серой шкалы при освещении как дугами интенсивного горения, так и лампами накаливания. Каждый объект экспонировался с различными экспозициями, изменение которых производилось путем изменения величин относительных отверстий, т. е. диафрагмированием объектива при неизменном угле раскрытия obtюратора съемочной камеры и постоянной частоте съемки (24 кадра в секунду). При этом интервал экспозиций для цветных пленок был 1 : 60, а для черно-белых — до 1 : 250 с отношением соседних экспозиций 1 : $\sqrt{2}$ и 1 : 2.

Такой метод изменения экспозиций приводит к изменению глубины резко изображаемого пространства, что затрудняет визуальную оценку качества изображений, получаемых при различных относительных отверстиях. Поэтому в одной из серий опытов был применен метод изменения экспозиций путем изменения угла раскрытия obtюратора при неизменном относительном отверстии. Этот способ также имеет свои недостатки, заключающиеся в возможности ошибки из-за несоблюдения закона взаимозаменяемости, хотя интервал экспозиции по сравнению с первым способом много меньше — 1 : 17. Отношение экспозиций на соседних кадрах здесь переменное: от 1 : 2 до 1 : 0.95.

Было проведено пять серий испытаний, в которых исследованы 23 образца цветных и 20 образцов черно-белых пленок, в том числе:

Цветные киноплёнки	Число	Черно-белые киноплёнки	Число
ДС-1	5	А	3
ДС-2	11	АМ	3
ДС-3	1	А-2	2
ЛН-3	3	Б	2
Агфа-Колор Т	3	В	2
		Д	3
		МЗ	5

В отдельных сериях опытов, включавших различные пленки, в силу организационно-технических причин применялись разные киносъемочные камеры: Дебри, Аскания, Митчел и «Москва». Применялись просветленные объективы «Зоннар» и «РО» и объектив Кука. Объективы были прокалиброваны в значениях эффективной светосилы.

В двух сериях опытов производилась печать позитивов с полученных цветных и черно-белых негативов. При этом обработка позитивов производилась до постоянного значения результирующей γ : в одном случае до 1.2, в другом — до 1.4. Печать в одном из этих случаев производилась как для цветных, так и для черно-белых пленок двумя способами: на одном свете, установленном по визуально оптимальному негативу, и на оптимальном режиме для каждого негатива, т. е. до получения наилучшего позитива с каждого из негативов экспонетрической. В другом случае установка света производилась только в оптимальном режиме для каждого негатива.

Метод оценки экспонетрических

Метод оценки экспонетрических состоял в нахождении:
а) первого минимально экспонированного негатива, являющегося приемлемым по визуальному качеству проработки деталей объекта;

1 Экспонетрической мы называем ряд изображений с закономерно изменяющейся экспозицией.

- б) оптимального по экспозиции негатива;
в) первого приемлемого позитива;
г) оптимального позитива.

Оценку давали операторы и светоустановщики при визуальном просмотре материала на монтажном столе, а позитивов, кроме того, — и на экране. При расхождении в оценке результаты усредняли.

Следует признать, что оценка изображений, которая производилась по качеству проработки деталей снимаемых объектов, является своего рода фотографической традицией, воспринятой от Гольдберга и Дюнса. Эта оценка не учитывает специфики киноизображения, в котором для разных планов и сюжетов должно сохраняться равенство ключевой плотности. Это является, конечно, недостатком методики определения практической светочувствительности, проводимой в результате визуальной оценки отдельно рассматриваемых изображений.

В зависимости от способа экспонирования, применявшегося при практической съемке экспонграмм, метод расчета практической чувствительности основывался на определении относительных отверстий или выдержек, соответствующих выбранным изображениям.

Когда экспонирование производилось при постоянном угле раскрытия объектива и изменение экспозиций осуществлялось путем диафрагмирования объектива, относительная практическая чувствительность находилась по экспонметрической формуле

$$S = k \frac{z_{\text{ном}}^2 \cdot q}{E_0 \cdot r_0 \cdot \tau \cdot t},$$

где E_0 — освещенность сюжетно важных элементов объектов съемки; r_0 — коэффициент яркости этих элементов; t — выдержка; $z_{\text{ном}}$ — знаменатель эффективного относительного отверстия объектива; τ — коэффициент пропускания объектива; q — кратность светофильтра; k — коэффициент пропорциональности.

В нашем случае отношение светочувствительности двух пленок будет

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{z_1^2}{z_2^2}.$$

Если светочувствительность одной пленки, например пленки МЗ, принять за единицу ($S_2 = S_{\text{МЗ}} = 1$), то светочувствительность другой пленки выразится через

$$S = k z^2,$$

где $k = \frac{1}{z_{\text{МЗ}}^2}$; $z_{\text{МЗ}}$ — знаменатель эффективного относительного отверстия объектива, найденного для пленки МЗ.

В той серии опытов, где переменной была выдержка t , относительная практическая светочувствительность определялась по соотношению выдержек для данной пленки (t) и пленки, светочувствительность которой была принята за единицу ($t_{\text{МЗ}}$)

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{t_{\text{МЗ}}}{t}$$

и при $S_2 = S_{\text{МЗ}} = 1$, $S = \frac{t_{\text{МЗ}}}{t}$,

где $t_{\text{МЗ}}$ — выдержка, найденная для пленки МЗ.

Выдержка в этом случае определяется по формуле

$$t = \frac{\alpha_{\text{max}} \cdot N}{360 \cdot v \cdot O_a},$$

где t — выдержка (в сек.); α_{max} — максимальный угол раскрытия объектива в начале съемки; N — номер кадра по счету от начала затемнения; v — частота (число кадров в секунду); O_a — длина закрытия объектива (количество кадров затемнения).

Так как в нашем случае $\alpha_{\text{max}} = 170^\circ$, $v = 24$ кадра в секунду и $O_a = 17$, то

$$t = \frac{N}{864},$$

откуда

$$S = \frac{N_{\text{МЗ}}}{N}.$$

Соответствие сенситометрической и практической чувствительностей оценивалось для каждого образца пленки при съемке каждого из объектов, соответственно при каждом из значений коэффициентов контрастности и для всех способов практической оценки и критериев сенситометрической чувствительности.

Вычислялись величины отклонений частных значений отношений

$$P_i = \frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$$

от наиболее вероятного значения этой величины по формуле

$$A = \frac{\sum P_i - n P_i}{\sum P_i} \cdot 100,$$

где n — число опытов.

В табл. 1 приводятся результаты по усредненным данным для исследуемых критериев сенситометрической чувствительности. В ряде опытов мы изучали величину среднего отклонения $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$ в зависимости от коэффициента контрастности, который, как указано выше, изменялся при проявлении как черно-белых, так и цветных негативов.

Это отклонение не оставалось постоянным для различных значений γ и возрастало с ростом γ при обоих критериях сенситометрической светочувствительности ($D_{\text{кр}} = 0.2$ и $D_{\text{кр}} = 0.85$).

Результат, полученный на довольно малом числе близких между собой материалов при усреднении значений коэффициентов контрастности, показывает сравнительную равнозначность различных критериев фотографической чувствительности. Заметим в этой связи, что все примененные в работе материалы относятся к типу кинонегативных пленок, для которых форма характеристических кривых в области недодержек мало различается.

Для этих материалов мы видим примерно одинаковое отношение сенситометрических чувствительностей, определенных по разным критериям, к практическим.

Таблица 1

Отклонение (А) от среднего значения отношений $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$ негативных пленок (%)

Кри- терий	Цветные пленки			Черно-белые пленки	
	число опы- тов	А		число опы- тов	А
		$S_{\min}$	$S_{\max}$		
i	8	21	27	5	12
$0.1 + D_0$	8	20	15	6	36
$0.2 + D_0$	32	25	20	31	28
$0.85 + D_0$	32	28	16	31	31

Мы рассматривали также соответствие между $S_{\text{сенси}}$ и $S_{\text{практ}}$ цветной обрабатываемой пленки ЦО-1. Практическая чувствительность в этом случае определялась путем фотографической съемки натуральных объектов с постоянной выдержкой и переменными относительными отверстиями. В результате визуальной оценки получаемых изображений и выбора наиболее оптимального из них находилось соответствующее относительное отверстие.

Количественно практическая чувствительность обрабатываемых пленок выражалась несколько иначе, чем это было принято для негативных пленок. Для обрабатываемых пленок определялась не относительная практическая светочувствительность, а абсолютная ее величина, что производилось с помощью экспонетра «Ленинград», применявшегося для контроля освещенности или средневзвешенной яркости объекта при съемках. Использование экспонетра для этой цели заключалось в сопоставлении зафиксированных при съемке показаний стрелки гальванометра с диафрагмами и выдержками, соответствующими выбранному изображению, и в определении по калькулятору чисел светочувствительности, выраженных в единицах ГОСТа 2817-50.

Было установлено, что полученные таким образом числа практической светочувствительности цветной обрабатываемой пленки по абсолютному значению близки к числам максимальной сенситометрической светочувствительности (соответствующей главным образом светочувствительности среднего слоя пленки ЦО-1) при округлении их до ближайших чисел нормального ряда (при критерии $D_{\text{кр}} = \text{const} = 1.0$ и $D_{\text{кр}} = 0.85 + D_{\text{мин}}$, если в формуле $S = \frac{k}{H_{D_{\text{кр}}}}$ $k = 10$).

Результаты приведены в табл. 2. В графах «ж», «п», «г» даны отклонения отношений $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$ от среднего значения для отдельных слоев (соответственно верхнего, среднего и нижнего).

Из табл. 2 видно, что определение светочувствительности по величине $D_{\text{макс}} - 0.1$, близкой к порогу максимальной плотности, соответствующему

Таблица 2

Отклонение (А) от среднего значения отношений $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$ цветных обрабатываемых пленок для съемки (%)

Критерии светочувствительности	А		
	ж	п	г
$D_{\text{кр}} = \text{const} = 1.0$	11	16	12
$D_{\text{кр}} = D_{\text{мин}} + 0.85$	11	16	12
$D_{\text{кр}} = D_{\text{мин}} + 0.1$	7	20	12
$D_{\text{кр}} = D_{\text{макс}} - 0.1$	47	72	32

теньям изображения, дает неприемлемый разброс чисел сенситометрической чувствительности, которые в ряде случаев отличаются между собой на целый порядок, тогда как практическая чувствительность пленки является одинаковой.

Это объясняется тем, что форма кривых в области недодержек обрабатываемой пленки сильно меняется в зависимости от колебаний вуали исходных эмульсий и других факторов и после обращения дает значительные колебания максимальной плотности и различную форму кривых в этой области. Что касается значений максимальных плотностей, полезных для образования глубоких теней на обрабатываемой пленке, то при сенситометрической оценке фотографической (экспонетрической) чувствительности материала ими, безусловно, следует пренебречь в пользу тех плотностей, которые образуют изображения

важных деталей объектов кино- и фотолюбительской съемки, т. е. относящихся и в этом случае к средней части характеристической кривой.

Исследование отношений $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$ для имеющегося ассортимента цветных и черно-белых негативных кинопленок с целью установления возможности применения единого коэффициента пропорциональности k в формуле светочувствительности

$$S = k \frac{1}{H_{D_{\text{кр}}}}$$

при единстве критерия $D_{\text{кр}}$ для цветных и черно-белых пленок покажет, как следует из табл. 3, что в первом приближении этот коэффициент, по-видимому, может быть одинаковым при условии определения для цветных пленок $S_{\text{сенси}}$ по $S_{\text{макс}}$.

Из этих данных видно, что при определении числа фотографической чувствительности цветных пленок по максимальному значению S имеется наименьшая разница в отношениях $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$ у цветных и черно-белых пленок при едином критерии $0.85 + D_0$.

При разработке метода общесенситометрического испытания цветных негативных пленок в формуле светочувствительности

$$S = \frac{k}{H_{D_{\text{кр}} = 0.85 + D_0(\text{макс})}}$$

определяемой по критерию $D_{\text{кр}} = 0.85$ над вуалью, нами [4—6] был принят коэффициент пропорциональности $k = 20$. Значение k найдено в результате испытания большого количества различных негативных цветных кинопленок статистически на основании экспериментальных данных из сопоставления чисел чувствительности, определяемых по указанной формуле, с числами чувствительности, получаемыми для равночувствительных черно-белых пленок по ГОСТу 2817-50 (т. е. при использовании $D_{\text{кр}} = 0.2 + D_0$ и $k = 1$).

Можно видеть, что если

$$\frac{S_{0.20}}{S_{0.85}} = \frac{H_{D=0.85}}{H_{D=0.20}} = 20,$$

то

$$\lg H_{D=0.85} - \lg H_{D=0.20} = \lg 20 = 1.3.$$

Небезынтересно отметить, что именно это значение интервала $\lg H$ предложено в проекте ИСО международного способа определения светочувствительности черно-белых любительских негативных фотографических материалов при использовании двух точек характеристической кривой, а именно 0.1 и 0.9 над вуалью.

Говоря о критерии фотографической чувствительности, отметим, что относительно такого критерия существуют различные взгляды. Можно считать, что до настоящего времени имеются два противоположных подхода, использующих разные решения экспонетрической задачи.

Один из них основывается на определении светочувствительности по количеству освещения для некоторого минимального значения градиента

Таблица 3

Средние значения

отношений $\frac{S_{\text{сенси}}}{S_{\text{практ}}}$

Критерий светочувствительности	Цветные пленки		Черно-белые пленки
	$S_{\text{мин}}$	$S_{\text{макс}}$	
0.2	0.5	1.2	0.9
0.85	0.8	1.2	1.1

характеристической кривой или минимального почернения сверх вуали. В соответствии с этим в экспонетрических расчетах становится необходимым определение минимальной яркости фотографируемых объектов.

Второй подход основывается на определении светочувствительности по количеству освещения для средней точки характеристической кривой. Экспонетрический расчет в этом случае предусматривает определение средневзвешенной яркости объектов. Здесь надо отметить, что середине характеристической кривой соответствует минимум кривой фотографической детали яркости, т. е. в этой области экспозиций слой раздельно передает наименьшие детали яркости. В этой же области (рис. 1) находится и максимум разрешающей способности слоя [7].

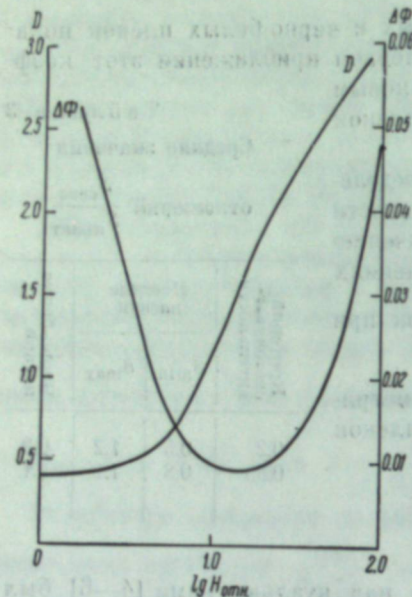


Рис. 1. Сопоставление кривой фотографических деталей яркости ($\Delta\Phi$) с характеристической кривой (D).

Так как существующие фотоэлектрические экспонометры измеряют средневзвешенную (интегральную) яркость объектов фотографирования в пределах телесного угла, охватываемого объективом съемочной камеры, то при решении экспонетрической задачи величина этой яркости, соответствующая средней части характеристической кривой, может быть непосредственно использована с минимальным количеством приближений и поправок. Возможно, что измерение средневзвешенной яркости является недостатком экспонометров и необходимо конструировать такие приборы, которые измеряли бы яркость отдельных деталей объекта малых геометрических размеров, как например цветояркомер НИКФИ ЦЯ-1, позволяющий определять цветоделенные фотографические и визуальные яркости деталей объекта [8].

Сторонники критериев светочувствительности, соответствующих минимальным яркостям исходят из предположения о наличии постоянного переходного коэффициента между средневзвешенной и минимальной яркостями объекта фотографирования, что совершенно не подтверждается экспериментальными данными ряда авторов, в частности Г. А. Истомина [9].

Рассматривая результат сопоставления $S_{\text{сенси}}$ и $S_{\text{практ}}$, при котором была установлена сравнительная равнозначность различных критериев сенситометрической чувствительности, мы приходим к заключению, что подобие формы характеристических кривых для примененных при исследовании материалов объясняет полученный результат. Но так как форма кривых зависит от условий проявления материалов, то зависит от них и отношение сенситометрических чувствительностей, определенных по разным критериям. На рис. 2 и 3, где показаны кривые зависимости отношений $\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}}$ для черно-белых пленок (рис. 2) и $\frac{S_{0.1}}{S_{0.85}}$ для цветных пленок (рис. 3), видно, что эти отношения в сильной степени зависят от γ .

В среднем для черно-белых пленок это отношение в интервале от 0.55 до 0.65 изменяется в два раза, а, например, изменение γ пленок МЗ и А-2 вдвое приводит к изменению отношения $\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}}$ в шесть раз.

Нетрудно показать, что для материалов различной степени контрастности или для одного и того же материала, проявленного до разных значений γ , отношение $\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}}$ будет различным.

Если исходить из допущения, что $D_{\text{кр}} = 0.2 + D_0$ лежит на прямой на участке характеристической кривой, то разница в светочувствительностях, определяемых по критериям $D_{\text{кр}} = 0.2$ и $D_{\text{кр}} = 0.85$,

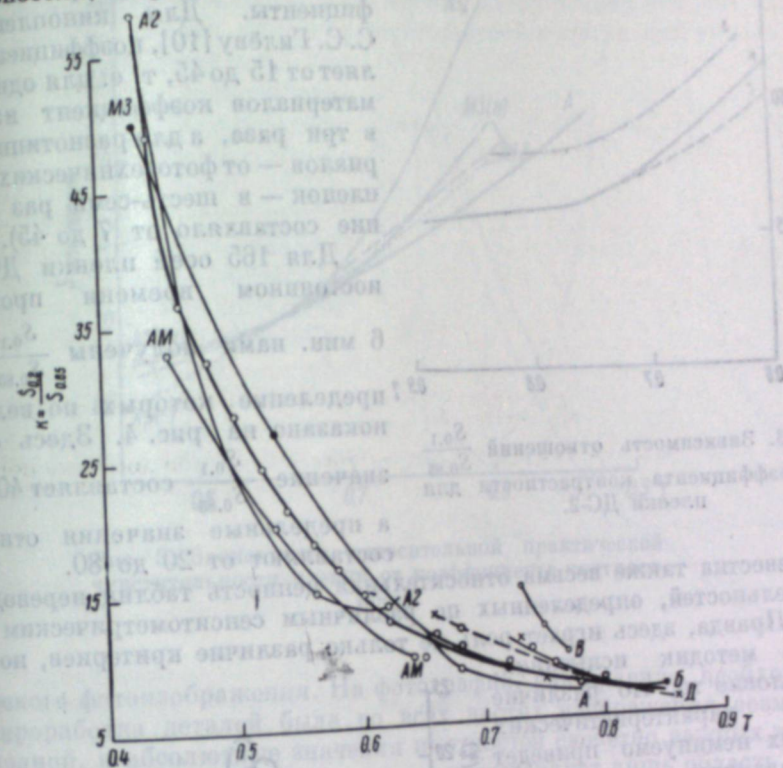


Рис. 2. Зависимость отношений $\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}}$ черно-белых пленок от коэффициента контрастности.

выражаемая разностью соответствующих логарифмов экспозиций (или отношением экспозиций), будет:

$$\lg H_{D_{\text{кр}}=0.85} - \lg H_{D_{\text{кр}}=0.2} = \frac{\Delta D_{\text{кр}}}{\gamma}$$

или

$$\frac{H_{D_{\text{кр}}=0.85}}{H_{D_{\text{кр}}=0.2}} = \text{antilog} \frac{\Delta D_{\text{кр}}}{\gamma}.$$

Так как

$$\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}} = \frac{1}{H_{D=0.2}} : \frac{k}{H_{D=0.85}} = \frac{H_{D=0.85}}{H_{D=0.2}} \cdot \frac{1}{k},$$

то

$$\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}} = \frac{1}{k} \cdot \text{antilog} \frac{\Delta D_{\text{кр}}}{\gamma},$$

где $\Delta D_{\text{кр}}$ и k — величины постоянные.

Таким образом, отношение $\frac{S_{0.2}}{S_{0.85}}$ представляет собой логарифмическую функцию коэффициента контрастности и убывает с ростом γ .

Хорошо известно, что при переходе от шкалы чувствительностей по Хертеру и Дрифилду к шкале ГОСТа 2817-50 для различных типов фотографических материалов были установлены различные переходные коэффициенты. Для киноплёнок, по С. С. Гилёву [10], коэффициент составляет от 15 до 45, т. е. для однотипных материалов коэффициент изменялся в три раза, а для разнотипных материалов — от фототехнических до киноплёнок — в шесть-семь раз (колебание составляло от 7 до 45).

Для 165 осей пленки ДС-2 при постоянном времени проявления 6 мин. нами получены $\frac{S_{0.1}}{S_{0.85}}$, рас-

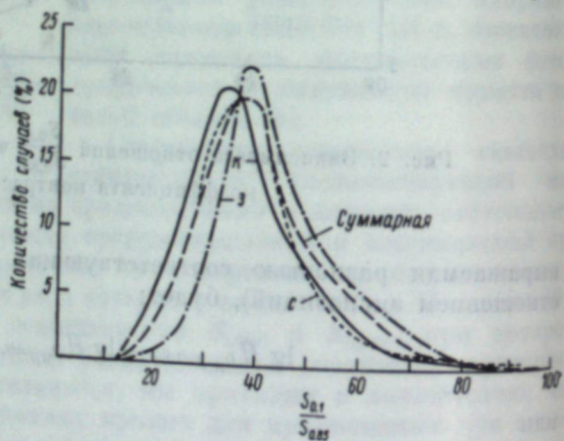
Рис. 3. Зависимость отношений $\frac{S_{0.1}}{S_{0.85}}$ от коэффициента контрастности для пленки ДС-2.

Известна также весьма относительная ценность таблиц перевода чувствительностей, определенных по различным сенситометрическим системам. Правда, здесь играет роль не только различие критериев, но и различие методик испытания. Безусловно то, что различие форм характеристических кривых неминуемо приведет к различию соотношений светочувствительностей, определенных по различным критериям. А это изменение отношений сенситометрической чувствительности приведет к изменению их отношений к практической чувствительности.

Исследование зависимости практической чувствительности пленок от степени проявления показало, что во всех без исключения случаях различными наблюдателями давалась однозначная оценка изображений в зависимости от степени проявления негативов.

Результаты представлены на рис. 5, где показана зависимость относительной практической чувствительности ряда пленок от γ , и на рис. 6, где дана зависимость от γ относительной практической и сенситометрической чувствительностей пленки А-2 при определении по разным критериям.

Рис. 4. Кривая распределения по величинам отношений светочувствительности, определенной по разным критериям, для 165 осей пленки ДС-2.



Параллельность хода кривых для S практической и S сенситометрической при критерии $0.85 + D_0$ говорит в пользу критерия, отвечающего средней части характеристической кривой.

Требования к техническому качеству киноизображения существенно отличаются от требований, предъявляемых к техническому качеству

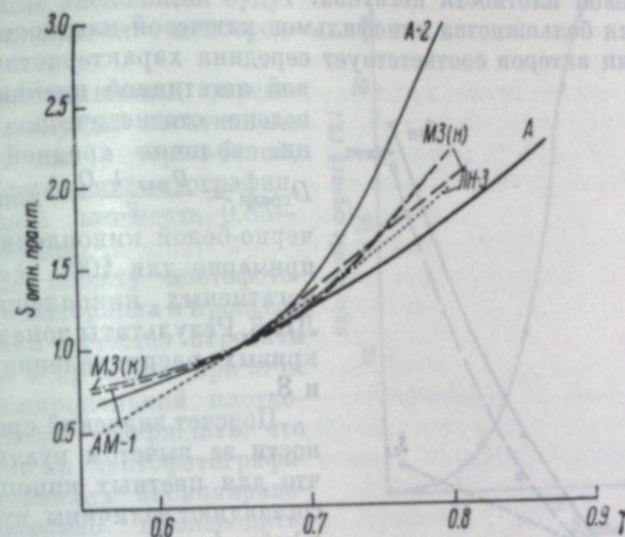


Рис. 5. Зависимость относительной практической чувствительности пленки от коэффициента контрастности.

статического фотоизображения. На фотографии, как правило, необходимо, чтобы проработка деталей была во всех частях изображения возможно более полной, и абсолютные значения плотностей сюжетно важных частей изображения не нормируются (исключение составляет лишь область аэрофотографии). Для киноизображения необходимо поддерживать постоянство плотностей лиц на всех последовательно монтируемых изображениях, независимо от сюжетного характера освещения, и сознательно использовать непрямолинейные участки характеристических кривых для отвлечения внимания зрителя от маловажных деталей.

Рассматривая позитивное киноизображение, мы можем назвать нормальным такое, в котором изображения лица имеют плотность, колеблющуюся в заданных достаточно узких пределах, а другие яркости попадают на соответствующие им точки интервала плотностей.

Условия экспонирования при получении киноизображения должны быть одинаковыми как при наличии в кадре лиц людей, так и при их отсутствии, т. е. в этом последнем случае условия экспонирования должны сохраняться такими же, как если бы изображения лиц находились в кадре.

Таким образом, постоянство плотности должно быть не только на позитивной копии, но и на самих кионегативах, что позволит произво-

Таблица 4
Средняя плотность на цветных негативных кинолентах

Серия опытов	Число осей	Копировальные плотности в спектральных зонах			Среднее
		синяя	зеленая	красная	
1-4	480	0.86	0.85	0.96	0.89
5	500	0.98	1.04	1.07	1.03

доть печать в идеале на одном свету копировального аппарата и обеспечить равноценность фотографического качества на протяжении всего фильма.

Учитывая это специфическое требование кинематографии, следует рационально выбирать критерий чувствительности негативных киноплёнок, соответствующий ключевой освещённости объекта и, следовательно, ключевой плотности негатива.

Так как для большинства кинофильмов ключевой плотности негативов при съёмке лиц актёров соответствует середина характеристической кривой негативной плёнки, было проведено статистическое исследование величин средней плотности $D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{max}} + D_0}{2}$ для 500 осей черно-белой киноплёнки АМ-1 и примерно для 1000 осей цветных негативных киноплёнок ДС-2 и ЛН-3. Результаты показаны в виде кривых распределения на рис. 7 и 8.

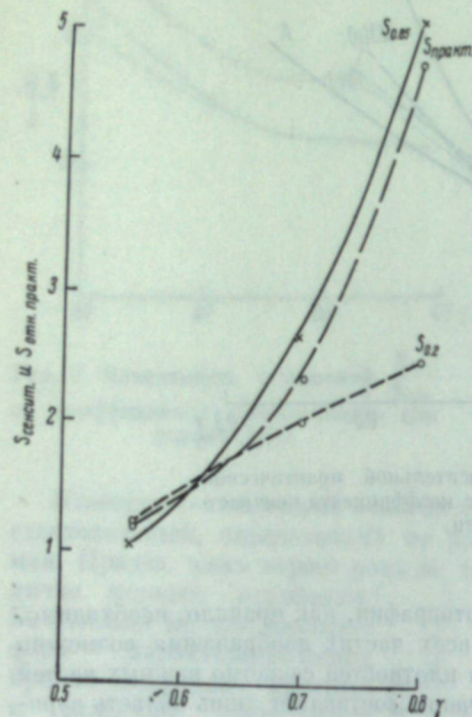


Рис. 6. Зависимость практической и сенситометрической светочувствительностей пленки А-2 от коэффициента контрастности.

плотность зеленочувствительного слоя или практически равную ей среднюю величину из значений средней плотности всех трех характеристических кривых. Следует заметить (табл. 4), что в 5-й серии опытов, относящейся к наиболее современным образцам плёнок ДС-2 и ЛН-3, средняя точка характеристической кривой лучше определяется плотностью, близкой к единице, т. е. приблизительно на 0.15 больше, чем применяемая в настоящее время величина. Это объясняется ростом максимальной плотности современных плёнок. Однако окончательное решение этого вопроса зависит также от ряда других соображений, в частности от величины сюжетно важной ключевой плотности, получаемой на негативах при съёмке типичных объектов, и прочих экспонетрических факторов.

Критерием правильной экспозиции в киносъёмочной технике считается диффузно отраженный свет от поверхности человеческой кожи [12]. Это значит, что методика экспонетрического контроля освещения не по теням, а по яркости или освещённости сюжетно важного участка (лица актёра) обуславливает необходимость наличия таких численных значений светочувствительности материала, которые определяли бы экспозиции,

необходимые для получения нормализованной плотности в месте изображения сюжетно важного участка на негативе. Если в качестве критерия фотографической светочувствительности непосредственно принять плотность, соответствующую средней точке характеристической кривой, то необходимые экспозиции будут также определяться непосредственно.

В качестве величины, определяющей эту точку для негативного изображения как в черно-белой, так и в цветной кинематографии, можно принять плотность 0.85—0.90 сверх вуали.

Производя оценку цветофотографического материала и процесса с точки зрения качества передачи серой шкалы и применяя при этом величины копировальной плотности $D_{\text{кп}}$, можно утверждать, что и при съёмке на цветофотографических материалах экспонирование рационально производить, ориентируясь на получение величины $D_{\text{кп}}$ в месте изображения поля серой шкалы с коэффициентом отражения, близким к коэффициенту отражения лица.

Как было показано для современных негативных трехслойных киноплёнок, близкие к единице величины $D_{\text{кп}}$ также соответствуют примерно серединам характеристических кривых.

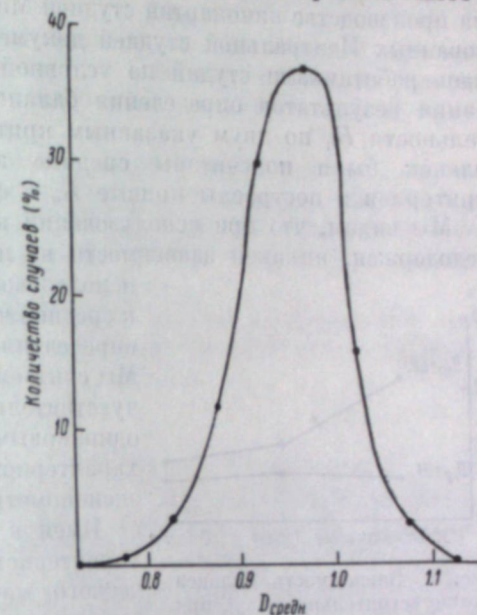


Рис. 7. Кривая распределения средней плотности $\frac{D_{\text{max}} + D_0}{2}$ у 500 осей негативной киноплёнки АМ-1.

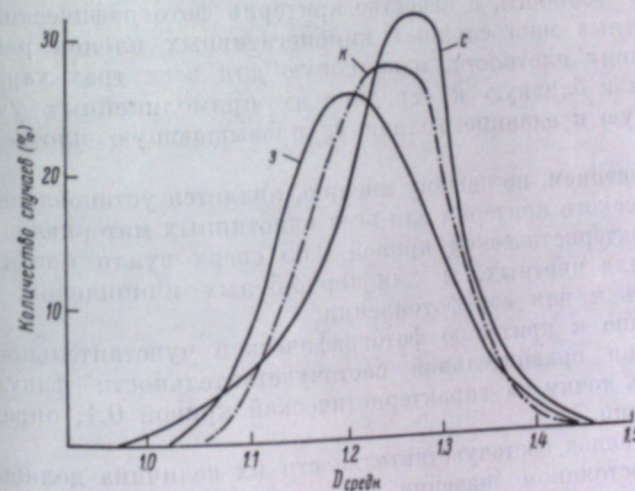


Рис. 8. Кривые распределения средней плотности $\frac{D_{\text{max}} + D_0}{2}$ у 500 осей цветной негативной плёнки.

В заключение необходимо остановиться на результатах сравнения двух критериев (0.1 и 0.85) при определении фотографической чувствительности цветной негативной плёнки с точки зрения связи величины ба-

баланса чувствительностей, получаемого при указанных критериях, с практической оценкой пленки.

Были практически оценены 130 осей пленки ДС-2, использованных на производстве кинокартин студией Мосфильм, и 40 осей пленки, использованных Центральной студией документальных фильмов. Оценка давалась работниками студий по условной трехбалльной системе. На основании результатов определения баланса фотографической светочувствительности B_q по двум указанным критериям для каждой из трех групп пленок были подсчитаны средние значения величин B_q для этих критериев и построены кривые B_q в функции оценки (рис. 9).

Мы видим, что при использовании критерия, относящегося к области недодержек, никакой зависимости не наблюдается, в то время как при использовании критерия, относящегося к средней части кривой, можно с достаточной определенностью судить о качестве материала. Мы считаем, что критерий фотографической чувствительности непременно должен быть одинаковым и при оценке баланса частных характеристических кривых, и при решении экспонетрической задачи.

Имея в виду различие форм отдельных характеристических кривых цветофотографического материала и стремясь сбалансировать характеристические кривые по их серединам, мы в конечном счете будем иметь меньшие искажения передачи всего объекта съемки в целом, чем в том случае, если бы мы балансировали характеристические кривые по области недодержек, где мы имели бы правильное цветовоспроизведение в тенях изображения, тогда как в светах получили бы наибольшее возможное искажение.

Исходя из сказанного, в качестве критерия фотографической чувствительности цветных многослойных кинопленок рационально выбрать величину плотности, одинаковую для всех трех характеристических кривых и близкую к середине их прямолинейных участков, а именно близкую к единице величину, превышающую плотность вуали на 0.85.

Лучшим решением, по нашему мнению, является установление единого экспонетрического критерия для всех однотипных материалов. Поэтому точка на характеристической кривой 0.85 сверх вуали может служить критерием и для цветных, и для черно-белых киноплёнок. Этого же можно ожидать и для аэрофотопленки.

В дополнение к критерию фотографической чувствительности в качестве критерия сравнительной светочувствительности факультативно можно принять точку на характеристической кривой 0.1, определяемую экспериментально.

Для обоих видов светочувствительности их величина должна определяться при постоянном значении γ .

Выводы

1. Показана сравнительная равнозначность критериев сенситометрической чувствительности как черно-белых, так и цветных негативных пленок при условии их проявления до принятых в кинематографии постоянных значений коэффициентов контрастности ($\gamma=0.55$ для черно-белых и $\gamma=0.65$ для цветных пленок).

2. Установлено наличие зависимости практической чувствительности негативных киноплёнок от степени проявления: чувствительность возрастает с ростом γ .

3. Найдено, что отклонение отношений $\frac{S_{\text{сенс}}}{S_{\text{практ}}}$ от среднего значения в общем случае меньше для критерия $D_{\text{кр}}=0.85$, чем для критерия $D_{\text{кр}}=0.2$, особенно для цветных пленок, при определении их сенситометрической чувствительности по вышеизложенной кривой, т. е. по максимальному значению (S_{max}).

4. Установлены отсутствие связи с оценкой качества негативов баланса чувствительности при определении последней по критерию, относящемуся к области недодержек, и наличие такой связи при определении чувствительности по средней точке характеристической кривой, что является преимуществом в технологическом отношении.

5. Показана возможность установления единого критерия для цветных и черно-белых негативных киноплёнок по средней плотности характеристической кривой ($D_{\text{кр}}=0.85$ над вуалью).

В работе участвовали сотрудники НИКФИ: Л. П. Лысенко, В. А. Куманцова, С. Л. Киселева и К. Э. Михайлидис; операторы Мосфильма и ЦСДФ: Галадж, Ильин, Комиссаров, Нижник, Писанко и Казаков; цвето-светоустановщики Мосфильма, ЦСДФ, Союзмультфильма и Москопирфабрики: Мозженко, Горчилина, Купцов и Ремер, а также сотрудники Шосткинского химического завода: А. Д. Вяткина и Л. Ф. Патрикеева. В оценке материала принимали участие: В. И. Попов, В. Н. Яковлева, А. Б. Каганская, И. Б. Гордийчук и Н. М. Спиридонова.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Л. Гольдберг. Образование фотографического изображения. Изд. «Огонек», М., 1929.
- [2] К. Миз. Теория фотографического процесса. Гостехиздат, М.—Л., 1949.
- [3] F. Hurter, V. Driffield, J. Soc. Chem. Ind., 9, 455, 1890.
- [4] Г. С. Баранов, Н. С. Овечкин, Э. Д. Каценеленбоген, Л. К. Крупенин, Труды НИКФИ, вып. 10 (20), 130, 1957.
- [5] Г. С. Баранов, Сб. «Цветная кинематография», изд. «Искусство», М., 1955.
- [6] ГОСТ 9160—59. Фотографические материалы на прозрачной подложке. Метод общесенситометрического испытания многослойных цветофотографических материалов.
- [7] Г. С. Баранов. Вопросы теории фотографического воспроизведения, Госкиноиздат, М., 1949.
- [8] С. А. Друкер, А. М. Курицын, Труды НИКФИ, вып. 1 (11), 1957.
- [9] Г. А. Истомин, Усп. научн. фотографии, IV, 23, 1955.
- [10] С. С. Гилёв, Журн. «Природа», вып. 2, 85, 1955.
- [11] В. М. Бахвалов, Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотографии, IV, 34, 1955.
- [12] В. Г. Пелль, Усп. научн. фотографии, IV, 54, 1955.

Г. С. БАРАНОВ, Э. Д. КАЦЕНЕЛЕНБОГЕН,
П. КЛЮЕНКОВА, Л. К. КРУПЕНИН

СЕНСИТОМ ЦВЕТНОЙ ОБРАЩАЕМОЙ ПЛЕНКИ

Методика общесенситометрического испытания цветных обрабатываемых пленок для съемки изображения основывается на тех же принципах, что и методика испытания цветных негативных и позитивных пленок [1, 2]. Разница заключается в том, что окончательная сенситометрическая оценка должна производиться по обращенному, т. е. позитивному изображению, и в том, что образующиеся при цветном проявлении красители, как мы увидим далее, отличаются от красителей, образующихся в пленках другого типа.

Это последнее обстоятельство потребовало определения денситометрических свойств красителей, образующихся в отечественной обрабатываемой пленке ЦО, нахождения для этих красителей коэффициентов расчетных уравнений для вычисления точных значений визуальной эквивалентносерой плотности и специальной градуировки денситометров в приближенных значениях ВЭСП.

Далее приводится система уравнений для определения ВЭСП красителей обрабатываемой пленки отечественного производства типа ЦО:

$$\left. \begin{aligned} d^{\text{ж}} &= 1.22D_c - 0.81D_g - 0.41D_k, \\ d^{\text{п}} &= -0.29D_c + 1.47D_g - 0.18D_k, \\ d^{\text{р}} &= -0.08D_c - 0.05D_g + 1.13D_k. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Методика градуировки денситометра ЦД-4 в величинах ВЭСП для пленки ЦО была обычной [3]. С целью проверки правильности этой градуировки были поставлены специальные испытания по искусственной балансировке пленок ЦО путем экспонирования их на сенситометре ЦС-2 с применением коррекционных светофильтров, комбинации которых рассчитывались на основании характеристических кривых этой пленки, полученных при экспонировании без светофильтров. Близкие к серым поля сенситограмм оценивались визуально и спектрофотометрически.

Другим способом проверки правильности измерений получаемого фотографического эффекта было измерение в соответствующих трех спектральных зонах (за тремя светофильтрами денситометра) некоторых деталей изображения объектов практической съемки на пленке ЦО-1, считавшейся одной из наиболее удовлетворительных по визуальному качеству получаемого изображения.

Как известно, градуировка денситометра ЦД-4 в приближенных значениях ВЭСП действительна только для сенситограмм, выпускаемых промышленностью цветофотографических материалов, освещенных при испытании белым светом определенного спектрального состава. Градуировочные таблицы денситометра для перевода измерений полей, значительно отличающихся от серых, дают величины средней суммарной плотности в зонах

измерения и характеризуют, таким образом, визуальную окраску измеренного поля.

Полученные результаты (табл. 1) позволили убедиться в соответствии измерений фотографического изображения, снятого на пленке ЦО, с визуальной оценкой цвета его деталей.

Соответствующие каждому объекту вторые строки таблицы представляют собой измеренные плотности, из которых вычтены наименьшие, т. е. исключена общая нейтрально-серая плотность.

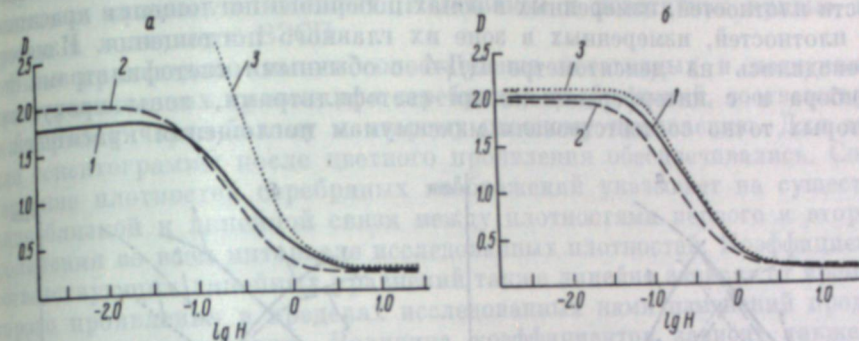


Рис. 1. Характеристические кривые пленки ЦО, полученные при измерениях на денситометре, градуированном для пленок ЦП (а) и ЦО (б).

Слои: 1 — верхний; 2 — средний; 3 — нижний.

Можно видеть, что голубой объект характеризуется в основном плотностью его изображения в красной зоне, т. е. что оно сформировано голубым красителем, тогда как изображение красного объекта формируется смесью пурпурного и желтого красителей и характеризуется, таким образом, значением плотностей в зеленой и синей спектральных зонах.

Построение характеристических кривых с использованием градуировки денситометра для цветной позитивной пленки ЦП (рис. 1, а) и специальной

Таблица 1

Объект	Плотность изображения в спектральной зоне		
	синяя	зеленая	красная
Лицо	0.82 0.19	0.82 0.19	0.63 —
Голубая кофта	0.53 —	0.61 0.08	0.90 0.37
Красный платок	1.44 0.77	1.54 0.87	0.67 —

Таблица 2

Пленка	Слои и номера компонент		
	верхний	средний	нижний
ЦП	521 + 535	169	546
ЦО	535	169	654 + 686

градуировки для цветной обрабатываемой пленки ЦО (рис. 1, б) показало, что измерение сенситограмм пленки ЦО при градуировке, предназначенной для пленки ЦП, дает

искаженные кривые, особенно кривые нижнего слоя. При совмещении графиков кривые среднего слоя совпадают, что чисто денситометрически доказывает идентичность пурпурной компоненты, содержащейся в средних слоях обеих пленок, тогда как компоненты других слоев являются различными, что и соответствует действительности (табл. 2). Указанные данные позволяют с достаточной уверенностью считать, что проведенная градуировка денситометров ЦД-4 отвечает практическим требованиям, предъявляемым к приближенным значениям ВЭСП при измерении фотографического эффекта на обрабатываемой пленке ЦО.

Для обоснования методики испытания пленки ЦО необходимо было установить влияние процесса обращения на красители пленки ЦО. Изучение этого влияния было проведено путем сравнения красителей, полученных на однослойных сенситограммах, обработанных цветным проявителем как непосредственно после экспонирования, так и после процесса обращения, т. е. после первого черно-белого проявления и дополнительной засветки.

Оценка красителей производилась на основании построения зависимости плотностей, измеренных в зонах побочного поглощения красителей, от плотностей, измеренных в зоне их главного поглощения. Измерения проводились на денситометре ЦД-4 с обычными светофильтрами этого прибора и с интерференционными светофильтрами, зоны пропускания которых точно соответствовали максимумам поглощения красителей.

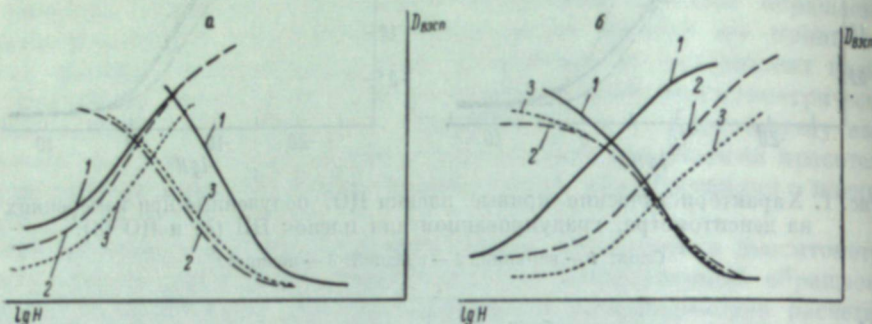


Рис. 2. Сопоставление негативных характеристических кривых, полученных в результате цветного проявления двух образцов пленки ЦО сразу после экспонирования, с позитивными кривыми тех же пленок, отвечающими полному процессу обращения.

Слои: 1 — верхний; 2 — средний; 3 — нижний.

В пределах всего интервала измерений с обоими видами светофильтров для всех красителей наблюдалась линейная зависимость дополнительных плотностей от основных. При этом не обнаружено никакой разницы между сенситограммами, обработанными цветным проявителем непосредственно после экспонирования, и полученными в результате нормального процесса обращения. Это указывает на то, что процесс обращения не влияет на денситометрические свойства красителей, для которых применимы все коэффициенты расчетных уравнений, составленных для красителей, полученных в результате цветного проявления, произведенного непосредственно после экспонирования.

Как мы уже говорили, в сенситометрии обрабатываемых пленок важным является вопрос о связи между градационными (негативными) характеристиками, полученными после первого проявления, и характеристиками (позитивными), полученными в результате процесса обращения. Так как в процессе обращения цветных пленок первое проявление является черно-белым, то разделить негативные градационные характеристики отдельных слоев цветной обрабатываемой пленки денситометрическими методами невозможно.

Для того чтобы получить негативные характеристики отдельных слоев обрабатываемой пленки, производилось цветное проявление этой пленки непосредственно после экспонирования. Надо помнить, что в этом случае процесс цветного проявления никак не связан с нормальным процессом обращения и что в этом случае нельзя ожидать непосредственной связи между позитивными и негативными характеристиками. Сопоставление этих характеристик было произведено нами только для того, чтобы пока-

зать, в частности, что вопреки распространенному мнению в обоих случаях балансировка отдельных слоев не совпадает.

На рис. 2 в качестве примера для двух пленок ЦО сопоставлены негативные характеристические кривые, полученные в результате цветного проявления, с позитивными кривыми, отвечающими полному процессу обращения. Мы видим, что хорошему балансу обращенного цветного изображения соответствуют чрезвычайно сильно разбалансированные негативные кривые, и наоборот. Негативные и позитивные кривые построены в величинах ВЭСП.

Было произведено также сопоставление негативных и позитивных характеристических кривых для серебряных изображений, соответствующих первому черно-белому и второму цветному проявлению. Для этой цели сенситограммы после цветного проявления обесцвечивались. Сопоставление плотностей серебряных изображений указывает на существование близкой к линейной связи между плотностями первого и второго проявления во всем интервале исследованных плотностей. Коэффициенты соответствующих линейных уравнений также линейно зависят от времени второго проявления в пределах исследованных нами изменений продолжительности проявления. Величина коэффициентов зависит также от контрастности слоев, в которых формируется изображение.

В качестве примера приводится система уравнений (2), отвечающих сенситограммам пленки ЦО, экспонированной за синим, зеленым и красными светофильтрами:

$$\left. \begin{aligned} D_2^c &= 1.28 + t(0.077 - 0.27D_1^c) - 0.45D_1^c, \\ D_2^a &= 1.84 + t(0.042 - 0.14D_1^a) - 0.62D_1^a, \\ D_2^k &= 1.53 + t(0.090 - 0.28D_1^k) - 0.48D_1^k, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где D_1 и D_2 — диффузные оптические плотности серебряных изображений соответственно при первом и втором проявлениях, а t — время второго проявления.

Интересно, что отношение коэффициентов исходных линейных уравнений, связывающих D_2 и D_1 для каждого времени проявления, во всех случаях является постоянной величиной.

Зависимость плотностей цветных полей от диффузных плотностей серебряного изображения, получаемого при втором проявлении, в наших опытах оказалась линейной. Это вызвано, по-видимому, тем, что плотности обращенного изображения на сенситограммах, экспонированных за синим, зеленым и красным светофильтрами, являются суммарными плотностями, соответствующими сразу двум эмульсионным слоям.

При экспонировании имевшегося образца пленки ЦО белым светом обращенное цветное изображение не было достаточно сбалансировано. Применялась искусственная балансировка этого образца путем экспонирования с коррекционными светофильтрами. Пленка экспонировалась за синим, зеленым и красным светофильтрами, причем в одном случае экспонирование производилось без добавления коррекционных светофильтров, а в другом — с ними. Было отмечено, что характер и взаимное расположение характеристических кривых для сенситограмм, экспонированных за зональными светофильтрами, в обоих случаях остаются неизменными, т. е. не зависят от спектрального состава света, упавшего на светофильтр — конечно, в тех пределах, в которых этот спектральный состав изменялся применяемыми нами коррекционными светофильтрами.

Указанное обстоятельство приводит к тому, что цвет обращенных сенситограмм, экспонированных за синим, зеленым и красным свето-

Таблица 3

Белый свет		Синий свет		Зеленый свет		Красный свет	
с	к	з	к	с	к	с	з
0.70	0.53	0.60	0.81	1.25	0.81	1.23	0.72
± 0.16	± 0.02	± 0.04	± 0.02	± 0.13	± 0.01	± 0.11	± 0.06

фильтрами, оказался практически одинаковым, как для случая экспонирования без коррекционных светофильтров, так и со всеми их комбинациями. В табл. 3 приведены измеренные в трех спектральных зонах плотности средних полей сенситограммы на различно сбалансированных пленках ЦО, имеющих примерно одинаковую суммарную плотность. Для облегчения суждения о цвете поля наименьшая плотность вычиталась из двух других.

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что при изменении коррекционными светофильтрами спектрального состава света цвет сравниваемых полей, экспонированных за каждым зональным светофильтром, практически одинаков, причем наибольшие отклонения имеют место для синей спектральной зоны. Однако это отклонение не превышало отклонений, имевшихся для сенситограмм в параллельных опытах при экспонировании белым светом, для которых также наблюдается наибольшее расхождение в плотностях, измеренных в синей спектральной зоне. Это еще раз подтверждает известный факт независимости цветового охвата и цветоделительных характеристик пленки от степени балансирования отдельных слоев.

Методика градационных испытаний обрабатываемой пленки предусматривает экспонирование сенситограмм на сенситометре ЦС-2 при свете лампы накаливания, экранированной светофильтром искусственного дневного света. Сенситометрические параметры, помимо общеизвестных, включают два новых показателя: баланс по $D_{\min}$, определяющий вредную окраску в светах изображения, и баланс по $D_{\max}$, определяющий вредную окраску в тенях изображения.

Светочувствительность оценивается по критерию постоянной плотности $D_{кр}=1.0$. Надо отметить, что числа светочувствительности, оцениваемые по этому критерию, практически не отличаются от чисел, соответствующих критерию $0.85 + D_{\min}$. Последний же критерий имеет преимущество с фотографической, или экспониметрической, точки зрения, поскольку он относится к средней части характерной кривой и соответствует сюжетно важному объекту, каким является на негативах человеческое лицо. Однако поскольку существует мнение, что определение светочувствительности следует производить по экспозиции, соответствующей теням изображения, т. е. в случае обрабатываемой пленки — по плотности, близкой к максимальной, то была определена чувствительность и по этому способу (критерий $D_{\max} - 0.1$). Такой критерий по сравнению с критериями $D_{кр} = 0.85 + D_{\min}$ и $D_{кр} = 1.0$ дает неприемлемый разброс чисел сенситометрической светочувствительности, тогда как практическая чувствительность пленки является одинаковой. Приводим результат проведенного сравнительного испытания, выражающий отклонение в процентах величин светочувствительности пурпурного слоя пленки ЦО от среднего арифметического их значения, для ряда испытанных осей такой пленки:

$$D_{кр} = 1.0 \quad D_{кр} = 0.85 + D_{\min} \quad D_{кр} = D_{\max} - 0.1$$

19

20

72

Анализ результатов общесенситометрических испытаний пленки ЦО, произведенных в соответствии с предложенной методикой, показывает, что пленка ЦО, достаточно хорошо зарекомендовавшая себя при практическом фотографировании, лучше сбалансирована для дневного света, чем для солнечного света сенситометра. Это, в частности, указывает на рациональность применения при испытании источника именно искусственного дневного света, как это предусмотрено стандартизованным методом общесенситометрического испытания цветофотографических материалов.

Опыт промышленного выпуска обрабатываемой пленки ЦО-1 на основе производственных испытаний по описанной сенситометрической методике позволил Шосткинскому химическому заводу включить ее в новые технические условия на обрабатываемую пленку для любительской кинематографии и на обрабатываемую пленку для цветной фотографии. Данная методика с указанным изменением спектрального состава источника света в настоящее время регламентирована ГОСТом 9160—59.

В работе принимали участие: Л. П. Лысенко и В. А. Куманцова (НИКФИ), Л. Ф. Патрикеева и А. Д. Вяткина (Шосткинский химический завод) и Ю. Б. Виленский (Шосткинский филиал НИКФИ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Баранов, Сб. «Цветная кинематография», изд. «Искусство», 1955.
2. Г. С. Баранов, Н. С. Овечкин, Э. Д. Каценеленбоген, Л. К. Крупенин, Труды НИКФИ, вып. 10 (20), 1957.
3. Л. К. Крупенин, Разработка метода денситометрии цветных трехслойных пленок. Канд. дисс., НИКФИ, 1954.

В. М. БАХВАЛОВ

ОСОБЕННОСТИ ДЕНСИТОМЕТРИИ ЦВЕТНЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ БУМАГ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ КРАСИТЕЛЕЙ В ОТДЕЛЬНЫХ СЛОЯХ

Определение количеств красителей в проявленных многослойных пленках производится обычно путем измерения образца на спектрофотометре или денситометре в трех длинах волн, соответствующих максимумам поглощения трех присутствующих красителей; затем пересчетом по трем уравнениям с тремя неизвестными вычисляются поверхностные концентрации красителей в каждом слое [1]. Такой способ определения поверхностных концентраций красителей может применяться при соблюдении двух условий: 1) все три красителя подчиняются закону Бугера; 2) имеет место аддитивность монохроматических оптических плотностей, т. е. равенство плотности суммы трех красителей сумме их плотностей, определенных порознь.

Для красителей цветного проявления, получаемых из недиффундирующих компонент в слоях цветных пленок, оба указанных условия соблюдаются достаточно хорошо, и денситометрия их не представляет принципиальных затруднений. На основе методики денситометрии проведены широкие исследования градационных и цветоделительных свойств цветных пленок [2] и намечены конкретные рекомендации по улучшению цвето-воспроизведения в цветной кинематографии [3].

Не менее важное значение имеет денситометрия цветных фотографических бумаг, способствующая улучшению качества последних, а также позволяющая объективно производить подбор бумаги к различным типам негативных пленок на основе численных градационных и цветоделительных характеристик элементарных слоев.

Разработанная в настоящее время [4] методика контроля баланса цветной фотографической бумаги по серой шкале при ее выпуске является вполне достаточной для текущего производственного контроля, но она недостаточна для усовершенствования и разработки новых сортов цветных бумаг с улучшенными градационными и цветоделительными характеристиками.

Описываемая в настоящей статье методика денситометрии цветных фотографических бумаг отечественного производства позволяет определять количество трех красителей на отпечатках с необходимой точностью. Она может быть применена и к цветным фотобумагам иностранного производства, если известны кривые поглощения их красителей и индикаторы отражения баритованной подложки данной фотографической бумаги.

Рассмотрим, какие осложнения возникают при определении плотности отпечатка как в целом, так и при определении плотности отдельных слоев.

При определении плотности цветного отпечатка измерение должно производиться в отраженном свете, что всегда осложняется наличием поверхностного и многократных внутренних отражений на границе раз-

дела, «скелатин—воздух» [5]. Поэтому, прежде чем применить обычную методику определения количеств красителей в цветных пленках для цветных бумаг, необходимо проверить соблюдение закона Бугера и аддитивность плотностей в отраженном свете, а также выяснить влияние на результаты измерения плотности поверхностного и многократных внутренних отражений.

Измерение монохроматических плотностей цветных полей в отраженном свете производилось на фотоэлектрическом спектрофотометре СФ-4, доработанном дополнительной приставкой со сферическим зеркалом (рис. 1).

Изучение отражательной способности цветных фотографических бумаг [6] показало, что общая («интегральная») монохроматическая плотность трех слоев цветного поля, которая потом будет употребляться для расчета концентраций красителей, должна определяться на высокоглянцевых цветных отпечатках, получаемых накатыванием при высушивании на стекло или целлулоид. Это обстоятельство является важным, так как опыт показывает, что только те поля проявленной цветной бумаги, имеющие одинаковое количество красителя, обладают равной и наибольшей плотностью, которые после обработки высушивались именно в накатанном состоянии.

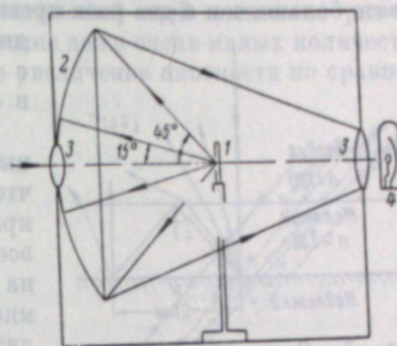


Рис. 1. Схема приставки к спектрофотометру СФ-4 для измерения плотностей в отраженном свете.

1 — рамка для образца; 2 — сферическое зеркало; 3 — линза; 4 — фотоэлемент.

Подчинение красителей закону Бугера проверялось измерением на спектрофотометре в отраженном свете цветных полей на однослойных поливах бумаги «Фоточвет», содержащих различные количества каждого красителя. По полученным значениям плотностей строились графики зависимостей $\lg D_{\lambda}^r = f(\lambda)$ и $D_{\lambda}^r = \varphi(D_{\lambda, \max}^r)$. Экспериментальный материал показывает, что при измерении в отраженном свете вплоть до $D_{\lambda}^r = 2.0$ имеет место хорошее подчинение всех трех

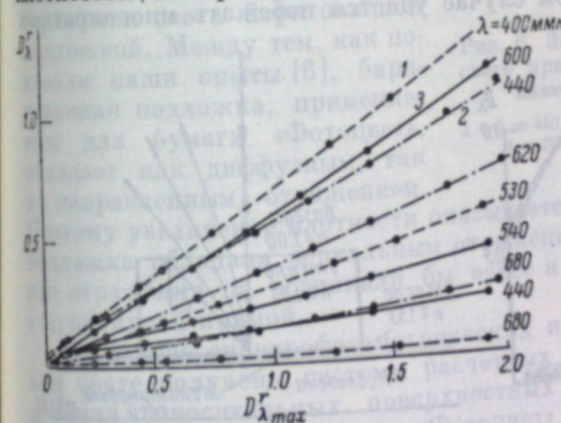


Рис. 2. Зависимость побочного поглощения от поглощения в максимуме.

Красители: 1 — желтый; 2 — пурпурный; 3 — голубой.

красителей закону Бугера: логарифмические кривые плотности окрашенного желатина друг другу, а зависимость побочного поглощения от поглощения в максимуме представляет прямые линии (рис. 2).

Если измерить монохроматическую плотность окрашенного желатина в проходящем свете D_{λ} , а затем приложить этот слой к баритованной подложке и вновь измерить его на этот раз в отраженном свете, то плотность D_{λ} увеличивается вдвое, т. е. $D_{\lambda}^r = 2D_{\lambda}$. Положение осложняется, если желатиновый слой с красителем находится в оптическом контакте с баритованной подложкой, как в нормальном отпечатке.

Возникающие на границе раздела «желатин—воздух» между подложкой и поверхностью желатинового слоя многократные внутренние отражения света (рис. 3), которые впервые были математически исследованы в работе [5], приводят к тому, что плотность окрашенного желатинового слоя, находящегося в оптическом контакте с подложкой, в отраженном свете больше чем в два раза превышает плотность этого же слоя в проходящем свете и нелинейно возрастает с увеличением количества красителя в слое.

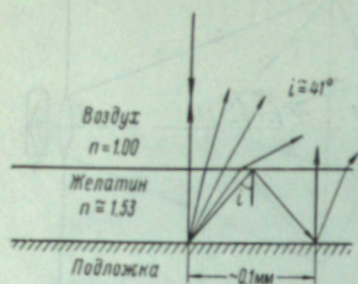


Рис. 3. Схема возникновения многократных внутренних отражений между подложкой и поверхностью желатинового слоя.

Благодаря возникновению многократных внутренних отражений оказывается, что кривая плотности одного и того же красителя на баритованной подложке всегда несколько менее селективна, чем на прозрачной подложке (рис. 4). Из-за многократных отражений нарушается аддитивность плотностей в отраженном свете: плотность суммы двух или трех красителей оказывается меньше суммы их плотностей, определенных порознь [7].

В статье [5] описан способ измерения плотности в отраженном свете с помощью приводимого в оптический контакт с измеряемым образцом стеклянного диска, образующая которого и одна из сторон, за исключением круга в центре, окрашены черным лаком.

На рис. 5 показана схема действия стеклянного диска, поглощающего многократно внутренне отраженный свет. Практическое опробование этого способа показало [7], что в этом случае удастся избежать многократных

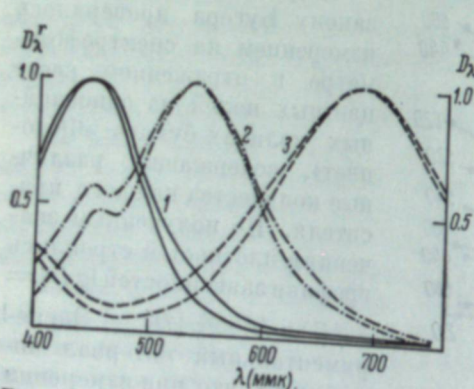


Рис. 4. Нормальные кривые плотности красителей бумаги «Фотоцвет».

Внешние кривые — измерение в отраженном свете; внутренние кривые — в проходящем свете. Красители: 1 — желтый; 2 — пурпурный; 3 — голубой.

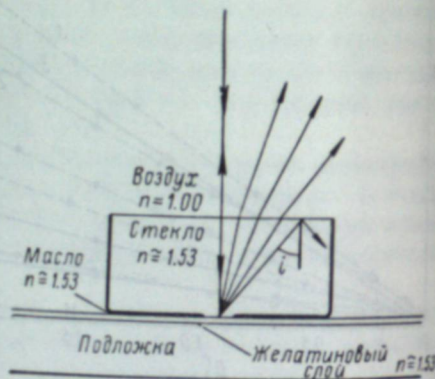


Рис. 5. Схема действия стеклянного диска, поглощающего многократные внутренние отражения.

внутренних отражений и плотность окрашенного желатинового слоя, находящегося в оптическом контакте с баритованной подложкой, получается удвоенной. Использование стеклянного диска, хотя и дает аддитивность плотностей в отраженном свете, не может быть рекомендовано в обычной работе, так как оно сильно усложняет измерения. Поэтому измерения плотностей с диском были использованы для получения калибровочных кривых для трех участков спектра, по которым можно было бы измерение обычным способом в трех длинах волн — максимумах поглощения трех

красителей — плотности переводить в те их значения, которые получились бы при измерении со стеклянным диском. На рис. 6 приводятся такие калибровочные кривые. Рисунок показывает, что плотность, полученная при обычном измерении, больше плотности, измеренной со стеклянным диском. Это происходит вследствие того, что часть падающего света ввиду многократных отражений проходит желатиновый слой несколько раз и сильно поглощается при наличии в желатине даже очень малых количеств красителя. Поэтому и получается резкое увеличение плотности по сравнению с тем, что имеет место при измерении с диском, где многократные внутренние отражения почти полностью уничтожены.

Приводимые на рис. 6 кривые 1, 2 и 3 получены усреднением большого числа измерений. Для кривой 1 показан разброс точек, который имеет место при изучении этой зависимости в длине волны 440 ммк. Кривая 4 построена по расчетным данным, взятым из работы [5]. Расположение кривой 4 много выше экспериментальных кривых 1, 2 и 3 объясняется тем, что при расчете этой кривой авторы работы [5] исходили из условия полностью диффузного отражения света баритованной подложкой. Между тем, как показали наши опыты [6], баритованная подложка, применяемая для бумаги «Фотоцвет», обладает как диффузным, так и направленным отражением. Поэтому увеличение плотности оказывается несколько меньшим. Если бы подложка обладала зеркальным отражением, то многократные внутренние отражения не возникали бы вовсе и все четыре кривые совпали бы с пунктирной прямой.

На основе спектрофотометрических измерений плотности в отраженном свете получены системы расчетных линейных уравнений для определения относительных поверхностных концентраций красителей по делениям отпечатков на бумаге «Фотоцвет» при обычном измерении плотности (1) и при измерении со стеклянным диском (2):

$$\left. \begin{aligned} 1.00c_{\text{ж}} + 0.54c_{\text{п}} + 0.09c_{\text{г}} &= D_{\lambda_{440}}^r \\ 0.25c_{\text{ж}} + 1.00c_{\text{п}} + 0.20c_{\text{г}} &= D_{\lambda_{530}}^r \\ 0.015c_{\text{ж}} + 0.11c_{\text{п}} + 1.00c_{\text{г}} &= D_{\lambda_{680}}^r \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} 1.00c_{\text{ж}} + 0.48c_{\text{п}} + 0.05c_{\text{г}} &= D_{\lambda_{440}}^r \\ 0.16c_{\text{ж}} + 1.00c_{\text{п}} + 0.12c_{\text{г}} &= D_{\lambda_{530}}^r \\ 0.01c_{\text{ж}} + 0.05c_{\text{п}} + 1.00c_{\text{г}} &= D_{\lambda_{680}}^r \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для систем уравнений (1) и (2) получаются соответственно приводимые далее решения: (3) — при обычном измерении плотностей, (4) —

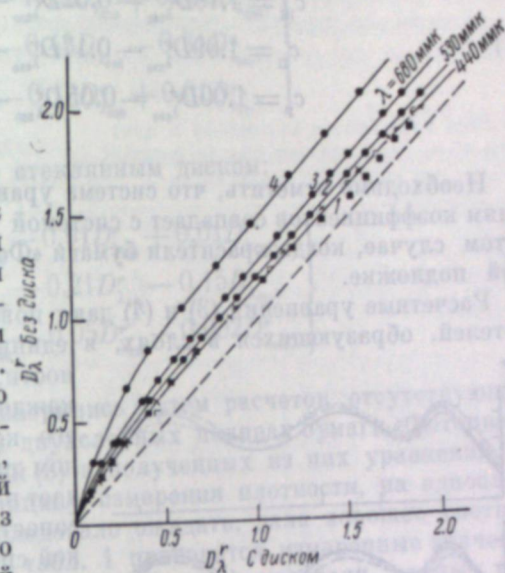


Рис. 6. Зависимость плотности в отраженном свете при обычном измерении от плотности, измеренной со стеклянным диском.

1 — $\lambda = 440$ ммк; 2 — $\lambda = 530$ ммк; 3 — $\lambda = 680$ ммк; 4 — расчетная кривая, взятая из работы [5].

при измерении их со стеклянным диском или при переводе к таковым с помощью градуировочных кривых (рис. 6):

$$\left. \begin{aligned} c_{\text{ж}} &= 1.15D_{\lambda_{440}}^r - 0.62D_{\lambda_{530}}^r + 0.02D_{\lambda_{680}}^r \\ c_{\text{п}} &= 1.18D_{\lambda_{530}}^r - 0.29D_{\lambda_{440}}^r - 0.21D_{\lambda_{680}}^r \\ c_{\text{г}} &= 1.02D_{\lambda_{680}}^r - 0.12D_{\lambda_{530}}^r + 0.01D_{\lambda_{440}}^r \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} c_{\text{ж}} &= 1.18D_{\lambda_{440}}^r - 0.52D_{\lambda_{530}}^r + 0.007D_{\lambda_{680}}^r \\ c_{\text{п}} &= 1.09D_{\lambda_{530}}^r - 0.17D_{\lambda_{440}}^r - 0.12D_{\lambda_{680}}^r \\ c_{\text{г}} &= 1.00D_{\lambda_{680}}^r - 0.05D_{\lambda_{530}}^r - 0.002D_{\lambda_{440}}^r \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Необходимо отметить, что система уравнений (2) по численным значениям коэффициентов совпадает с системой уравнений, которая получается в том случае, когда красители бумаги «Фотоцвет» находятся на прозрачной подложке.

Расчетные уравнения (3) и (4) дают поверхностные концентрации красителей, образующихся в слоях, в единицах монохроматической плотности, где за единицу количества

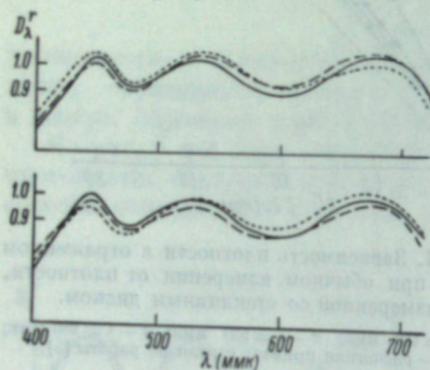


Рис. 7. Кривые спектральной плотности нескольких серых полей в отраженном свете, имеющих плотность в белом свете, равную 1.0.

каждого из красителей принято то его количество, которое в отраженном свете в максимуме поглощения дает плотность, равную единице. Для сопоставления ряда наблюдений такой способ выражения концентраций красителей удобен и прост. Но для решения ряда фотографических вопросов удобнее выражать поверхностные концентрации красителей в единицах эквивалентно-серой плотности, где за единицы концентраций красителей приняты те их количества, которые в смеси дают серую плотность в отраженном свете, равную единице.

Для определения этих количеств красителей была подобрана серия полей бумаги «Фотоцвет», которая имеет серую окраску как при дневном, так и при искусственном освещении. Плотность этих серых полей в белом свете контролировалась и была равна 1.0 ± 0.05 . Затем монохроматические плотности этих полей измерялись на спектрофотометре. На рис. 7 приводятся спектральные кривые плотностей этих полей в отраженном свете. Как видно из рисунка, эти кривые заметно расходятся между собой, что объясняется субъективными погрешностями в оценке серого поля при двух типах освещения.

Ввиду того что плотность серых полей в измеряемых длинах волн — 440, 530 и 680 мкм — отклоняется от единицы в большую и меньшую стороны примерно одинаково, системы уравнений (1) и (2) для определения количеств красителей, входящих в серое поле единичной плотности, были приравнены к единице. Решением этих систем уравнений находились концентрации красителей, составляющих серое поле плотностью 1.0; при обычном измерении плотности

$$c_{\text{ж}} = 0.55; \quad c_{\text{п}} = 0.68; \quad c_{\text{г}} = 0.91, \quad (5)$$

и при измерении плотности со стеклянным диском

$$c'_{\text{ж}} = 0.57; \quad c'_{\text{п}} = 0.79; \quad c'_{\text{г}} = 0.95. \quad (6)$$

Для коэффициенты расчетных уравнений (3) и (4) соответственно и почленно на числа, представляющие собой количества красителей для серого поля в равенствах (5) и (6), получаем расчетные уравнения для определения поверхностных концентраций красителей по слоям в единицах ВЭСП при обычном измерении плотности:

$$\left. \begin{aligned} \text{Ж} &= 2.10D_{\lambda_{440}}^r - 1.13D_{\lambda_{530}}^r + 0.036D_{\lambda_{680}}^r \\ \text{П} &= 1.74D_{\lambda_{530}}^r - 0.43D_{\lambda_{440}}^r - 0.31D_{\lambda_{680}}^r \\ \text{Г} &= 1.12D_{\lambda_{680}}^r - 0.13D_{\lambda_{530}}^r + 0.01D_{\lambda_{440}}^r \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

и при измерении плотности со стеклянным диском:

$$\left. \begin{aligned} \text{Ж} &= 1.89D_{\lambda_{440}}^r - 0.91D_{\lambda_{530}}^r + 0.01D_{\lambda_{680}}^r \\ \text{П} &= 1.37D_{\lambda_{530}}^r - 0.21D_{\lambda_{440}}^r - 0.15D_{\lambda_{680}}^r \\ \text{Г} &= 1.06D_{\lambda_{680}}^r - 0.05D_{\lambda_{530}}^r - 0.002D_{\lambda_{440}}^r \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Полученные уравнения проверялись путем расчетов отсутствующих красителей на однослойных и двухслойных поливах бумаги «Фотоцвет». Проверка расчетных уравнений (3) и полученных плотностей, на однослойных поливах бумаги, как и следовало ожидать, дала хорошее соответствие измерения и расчета. В табл. 1 приводятся измеренные значения монохроматической плотности D_{λ}^r для желтого красителя, данные расчета по уравнениям (3) поверхностных концентраций $c_{\text{ж}}$, $c_{\text{п}}$ и $c_{\text{г}}$, данные расчета по уравнениям (7) концентраций в единицах ВЭСП — Ж, П и Г.

Из таблицы видно, что количество присутствующего желтого красителя практически получается равным измеренному, а количества отсутствующих красителей близки к нулю. Такие же результаты получались и в двух других случаях. Проверка уравнений (4) и полученных из них уравнений (8) для измерения плотности с диском по однослойным поливам также показала хорошее согласие измерения с расчетом.

Таблица 1
Расчет поверхностных концентраций желтого, голубого и пурпурного красителей по уравнениям (3) и (7)

№ поля	Измерено			Вычислено			Вычислено		
	$D_{\lambda_{440}}^r$	$D_{\lambda_{530}}^r$	$D_{\lambda_{680}}^r$	$c_{\text{ж}}$	$c_{\text{п}}$	$c_{\text{г}}$	Ж	П	Г
1	0.05	0.017	0.007	0.048	0.004	0.005	0.12	0.006	0.006
2	0.08	0.023	0.003	0.081	0.003	0.005	0.15	0.012	0.007
3	0.28	0.06	0.009	0.28	0.007	0.000	0.52	-0.02	0.004
4	0.61	0.15	0.014	0.607	0.000	0.001	1.11	0.005	0.002
5	0.98	0.25	0.017	0.975	0.01	0.003	1.77	0.009	-0.004
6	1.38	0.34	0.02	1.376	0.01	0.007	2.52	0.008	-0.009
7	1.70	0.42	0.027	1.70	0.000	0.005	3.09	0.028	-0.007
8	2.00	0.52	0.038	1.98	0.027	0.003	3.61		-0.005

Затем была произведена проверка этих уравнений при измерении двухслойных поливов, причем вычислялось количество того красителя, который отсутствует. При расчете по уравнениям (3) и (7) оказалось, что количество отсутствующего красителя получается отрицательным, вместо того чтобы быть равным нулю. Особенно большое отклонение в отрицательную сторону получается при расчете пурпурного красителя по измеренным плотностям присутствующих желтого и голубого (табл. 2).

Тот факт, что при расчете по одним и тем же уравнениям (3) и (7) на однослойных поливах количества отсутствующих красителей получаются близкими к нулю, а на двухслойных поливах количество отсутствующего красителя по расчету отклоняется от нуля в отрицательную сторону,

Таблица 2

Оценка пурпурного красителя в цветном поле, содержащем только желтый и голубой красители

№ поли	Измерено			Вычислено	
	$D_{\lambda_{440}}^r$	$D_{\lambda_{520}}^r$	$D_{\lambda_{680}}^r$	$c_{\text{п}}$	Π
1	0.29	0.115	0.24	0.002	0.001
2	0.38	0.136	0.28	-0.008	-0.01
3	0.70	0.23	0.48	-0.03	-0.05
4	1.02	0.32	0.74	-0.07	-0.11
5	1.25	0.39	1.03	-0.12	-0.17
6	1.58	0.53	1.47	-0.145	-0.21
7	1.77	0.63	1.78	-0.14	-0.21
8	1.93	0.71	2.00	-0.14	-0.21

читать более точные значения поверхностных концентраций красителей, чем в случае первичных данных измерения плотности и расчета по уравнениям (3) и (7).

Следует иметь в виду, что точное определение красителей в элементарных слоях необходимо при проведении цветоделительных испытаний.

Таблица 3

Оценка пурпурного красителя в цветном поле, содержащем только желтый и голубой красители, при использовании градуировочных кривых

№ поли	Измерено			Определено по градуировочным кривым			Вычислено	
	$D_{\lambda_{440}}^r$	$D_{\lambda_{520}}^r$	$D_{\lambda_{680}}^r$	$D_{\lambda_{440}}^r$	$D_{\lambda_{520}}^r$	$D_{\lambda_{680}}^r$	$c_{\text{п}}$	Π
1	0.148	0.085	0.175	0.07	0.035	0.08	0.015	0.01
2	0.29	0.115	0.24	0.165	0.054	0.12	0.013	0.01
3	0.55	0.183	0.38	0.355	0.09	0.21	0.013	0.017
4	0.84	0.267	0.585	0.64	0.14	0.365	0.000	0.00
5	1.165	0.36	0.89	0.97	0.205	0.64	-0.015	-0.01
6	1.41	0.45	1.22	1.25	0.29	0.95	-0.01	0.00
7	1.58	0.53	1.47	1.42	0.34	1.22	-0.015	-0.01
8	1.74	0.60	1.70	1.59	0.40	1.46	-0.005	0.00
9	1.81	0.67	1.92	1.74	0.465	1.72	0.004	0.01

Стабильность цветоделительных характеристик зависит от точности определения поверхностных концентраций красителей, так как определение эффективных плотностей в отношении каждого из слоев испытуемого материала производится путем сравнения количеств красителей на изображении тест-объекта и серой шкалы. В конечном счете точность определения количеств красителей по слоям отпечатка будет влиять на наклон кривых эффективных плотностей или в случае их прямолинейности на значения удельных эффективных плотностей δ негативных красителей в отношении трех слоев цветной бумаги.

Для определения ошибок, могущих возникнуть при нахождении удельных эффективных плотностей по вычисленным поверхностным концентрациям из уравнений (3) и (7), проводилось цветоделительное испытание бумаги «Фотоцвет» с тестами, составленными из различных комбинаций негативных красителей пленки ДС-2.

Каждый тест состоял из ступенчатого клина, содержащего один из трех красителей, с наложенными на него равномерными по плотности полями из двух других красителей. Равномерные поля для данного теста сильно различались по содержанию негативных красителей с таким расчетом, чтобы получить в слоях цветной бумаги разнообразный выход красителей вплоть до экранирования того или иного слоя или полной его засветки. Полученные изображения тестов и серой шкалы измерялись на спектрофотометре, поверхностные концентрации красителей определялись как по уравнениям (3), так и по уравнениям (7). Затем определялись эффективные плотности, строились соответствующие кривые и находились удельные эффективные плотности, выражающиеся тангенсом угла наклона прямолинейных участков кривых эффективных плотностей к оси абсцисс. В табл. 4 приведены значения удельных эффективных плотностей негативных красителей в отношении выделяемых ими слоев цветной бумаги, определенных по двум способам вычисления поверхностных концентраций красителей в изображениях тестов.

Как видно из табл. 4, значения удельных эффективных плотностей в случае А для всех трех слоев характеризуются значительно большими отклонениями от среднего, чем в случае Б. Нужно отметить, что колебания удельных эффективных плотностей в случае Б происходят только из-за некоторого нарушения принципа аддитивности эффективных плотностей [8]. Колебания же удельных эффективных плотностей в случае А значительно больше, чем в случае Б, и обусловлены уже двумя причинами — нарушением аддитивности и неточностью определения поверхностных концентраций красителей.

Таблица 4

Удельные эффективные плотности негативных красителей, определенные по двум способам

№ теста	$\delta_{\text{сг}}$	Отклонение от среднего (%)	$\delta_{\text{п.гр.}}$	Отклонение от среднего (%)	$\delta_{\text{г.кг}}$	Отклонение от среднего (%)
---------	----------------------	----------------------------	-------------------------	----------------------------	------------------------	----------------------------

А по уравнениям (3) или (7)

1	1.05	-6	1.32	-1	1.10	+3
2	1.42	+27	1.45	+9	1.12	+5
3	0.96	-14	1.28	-4	1.12	+5
4	1.05	-6	1.27	-4.5	0.95	-11
Среднее	1.12		1.33		1.07	

Б по уравнениям (4) или (8)

1	0.97	-8	1.22	+5	1.02	0
2	1.20	+14	1.13	-2.5	1.04	+2
3	0.98	-7	1.15	-1	1.07	+5
4	1.05	0	1.15	-1	0.96	-6
Среднее	1.05		1.16		1.02	

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотографии, II, 85, 1954.
- [2] Н. Ф. Семенова, Канд. дисс., НИКФИ, 1955.
- [3] Л. Ф. Артюшин, Канд. дисс., НИКФИ, 1955.
- [4] Г. С. Баранов, Н. С. Овечкис, Э. Д. Каценеленбоген, Л. К. Крупенин, Труды НИКФИ, вып. 10 (20), 1957.
- [5] F. C. Williams, F. R. Clapper, Journ. Opt. Soc. Amer., 43, № 7, 1953.
- [6] В. М. Бахвалов, Изв. АН СССР, серия физ., 21, 1534, 1957.
- [7] В. М. Бахвалов, Труды Лабор. аэрометодов, 9, 1960.
- [8] Н. Д. Нюберг, Г. С. Баранов, Н. С. Овечкис, Усп. научн. фотографии, II, 79, 1954.

В. П. КОПЕЙКИН

НОВЫЕ И МОДЕРНИЗИРОВАННЫЕ ПРИБОРЫ НИКФИ ДЛЯ ЦВЕТНОЙ СЕНСИТОМЕТРИИ

В настоящем сообщении рассматриваются разработанные НИКФИ за последние два-три года новые и модернизированные приборы для цветной сенситометрии. На базе этих приборов созданы комплекты сенситометрической аппаратуры для испытаний цветных многослойных кинофото-материалов на прозрачной и непрозрачной подложках. В комплект для испытания кинопленок входят сенситометр ЦС-2М, денситометр ЦД-7 и проявительный прибор ППЦС.

В дополнение к нему имеется малогабаритная проявочная машина для обработки 35-миллиметровых цветных сенситограмм и 35-миллиметрового отснятого или отпечатанного экспериментального материала.

В комплект для испытания фотобумаг входят: сенситометр ЦСБ-3, денситометр ЦД-7 с приставкой ПДД-4 для измерения плотности в отраженном свете и проявительный прибор ППЦС.

Цветной сенситометр ЦС-2М

Сенситометр ЦС-2М (рис. 1) предназначен для экспонирования сенситограмм цветных многослойных материалов на прозрачной подложке (негативных, позитивных и обрабатываемых пленок), но может быть также использован и для экспонирования черно-белых пленок. Показанный на рис. 1 аккумулятор в настоящее время заменен феррорезонансным стабилизатором напряжения. Принципиальная схема прибора представлена на рис. 2.

На сенситометре осуществляется ступенчатая шкала освещенности с помощью 30-польного сенситометрического клина с постоянной 0.150. Это соответствует интервалу экспозиций 4.5. На сенситометре возможно осуществить три выдержки: 0.05, 0.018 и 0.012 сек. Освещение всех фотографических материалов производится лампой накаливания с цветовой температурой $2850 \pm 20^\circ$ абс.

В сенситометре имеется оптическая система с нормированным спектральным поглощением. Кроме оптической системы, излучение лампы экранируется светофильтром искусственного солнечного света, или светофильтром, создающим излучение с цветовой температурой 3200° абс. Необходимая освещенность в плоскости оптического клина — 20—25 тыс. лк без светофильтров и 3—6 тыс. лк со светофильтром искусственного солнечного света — достигается фокусированием равномерно освещенной щели на плоскость сенситометрического клина. Изображение щели с постоянной скоростью передвигается вдоль сенситометрического клина, последовательно освещая все его участки. Изменение выдержек при экспонировании достигается изменением ширины щели.

Прибор состоит из следующих основных частей: неподвижной кассеты с сенситометрическим клином, подвижной каретки с закрепленной в ней

лампой и оптической системой, ходового винта с гайкой, передвигающего каретку по горизонтальным направляющим, электродвигателя с центробежным регулятором, электромагнитной муфты, соединяющей ходовой винт с ротором электродвигателя, устройства, обеспечивающего управление двигателем.

Оптическая система прибора находится в передвижной каретке и состоит из источника света, конденсора, диафрагмы со щелями, стеклянного светофильтра искусственного солнечного света или светофильтра,



Рис. 1. Общий вид цветного сенситометра ЦС-2М.

создающего излучение с цветовой температурой 3200° абс., зеркала, установленного под углом 45° , объектива и калиброванного нейтрального серого фильтра, необходимого для получения на клине заданной освещенности. В случае необходимости в рамке над объективом могут быть установлены любые дополнительные светофильтры.

Контроль и поддержание режима питания источника света осуществляются амперметром и вольтметром с классом точности 1.0.

В новом варианте сенситометра ЦС-2М лампа мощностью 30 Вт с двойной спиральной нитью заменена специально разработанной лампой К-33 мощностью 40 Вт с плоской спиральной нитью. Лампа жестко укреплена в патроне, к которому она припаяна на специальном приспособлении для юстировки и напайки ламп. Кроме того, в оптической системе вместо сложного в изготовлении шестилинзового конденсора установлен более простой трехлинзовый. Этими изменениями удалось значительно повысить уровень освещения и облегчить установку необходимой освещенности в плоскости сенситометрического клина при равномерности освещенности $\pm 2\%$.

Коэффициент стабилизации феррорезонансного стабилизатора составляет 0.5% при колебаниях напряжения сети 40—30%.

В старой модели прибора необходимая освещенность в плоскости сенситометрического клина при замене лампы устанавливалась путем изме-

нения диафрагмы объектива. Однако, как показал опыт, применение ирисовой диафрагмы не дает возможности установить освещенность с требуемой точностью. Для устранения этого недостатка от ирисовой диафрагмы пришлось отказаться и необходимую освещенность устанавливать

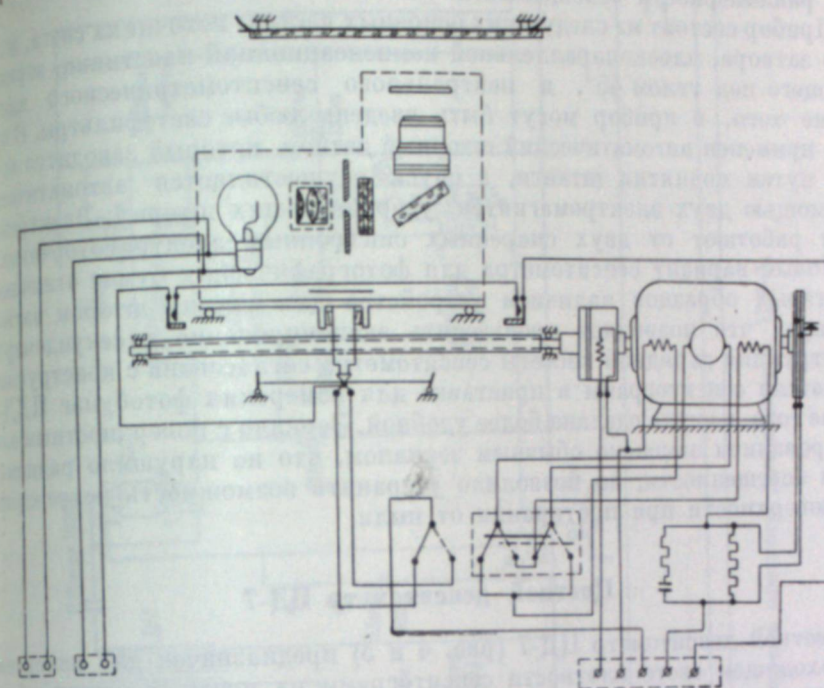


Рис. 2. Принципиальная схема цветного сенситометра ЦС-2М.

путем навинчивания на объектив оправы с нейтральным светофильтром. Каждый сенситометр снабжается набором таких нейтральных калиброванных светофильтров.

Цветной сенситометр для бумаг ЦСБ-3

Сенситометр ЦСБ-3 (рис. 3) предназначен для экспонирования сенситограмм на цветных и черно-белых фотографических бумагах. В нем используется сенситометрический клин с постоянной 0.150, а при помощи



Рис. 3. Общий вид цветного сенситометра для фотографических бумаг Б-3.

автоматического затвора осуществляются три продолжительности освещения — 1, 8 и 64 сек. Кроме того, в приборе предусмотрен ручной спуск затвора, позволяющий осуществлять любую желаемую выдержку с секундомером. Экспонирование бумаг производится светом лампы нака-

ливания с цветовой температурой 2850° абс., режим которой устанавливается и контролируется с помощью электроизмерительных приборов класса 1.0.

Освещенность в плоскости оптического клина составляет 150—250 лк при равномерности освещенности $\pm 2\%$.

Прибор состоит из следующих основных частей: источника света, шторного затвора, плоскопараллельной компенсационной пластинки, зеркала, стоящего под углом 45° , и нейтрального сенситометрического клина. Кроме того, в прибор могут быть введены любые светофильтры. В приборе применен автоматический шторный затвор, который заводится вручную путем поднятия штанги, а спуск осуществляется автоматически, с помощью двух электромагнитов, удерживающих шторку. Электромагниты работают от двух спаренных синхронных электромоторчиков.

Новый вариант сенситометра для фотографических бумаг отличается от старых образцов наличием устройства для спуска шторок затвора вручную, что позволяет производить экспонирование с секундомером. Конструкция зарядной кассеты сенситометра согласована с конструкцией держателя сенситограмм в приставке для измерения фотобумаг ПДД-4. Кроме того, кассета сделана более удобной. Зеркало с поверхностным алюминированием заменено обычным зеркалом, что не нарушило равномерности освещенности, но позволило устранить возможность повреждения его поверхности при протирании от пыли.

Цветной денситометр ЦД-7

Цветной денситометр ЦД-7 (рис. 4 и 5) предназначен для измерения в проходящем свете плотности сенситограмм на цветных многослойных и черно-белых материалах на прозрачной подложке как негативных, так и позитивных. С применением приставки ПДД-4, являющейся дополнительным осветительным устройством к цветному денситометру, на нем

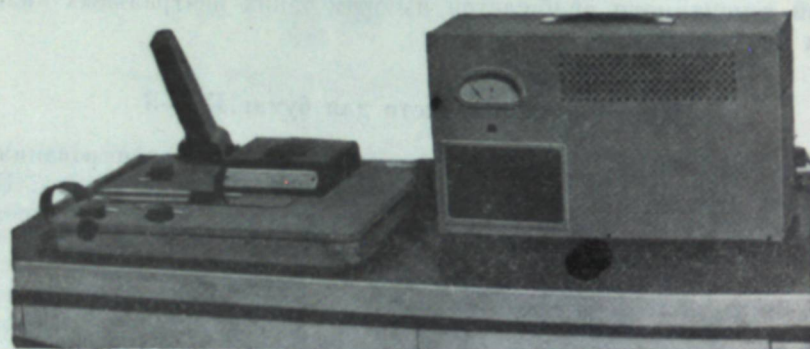


Рис. 4. Общий вид цветного денситометра ЦД-7.

можно измерять плотности цветных и черно-белых фотобумаг в отраженном свете.

Шкала гальванометра прибора проградуирована в величинах копировальных плотностей для негативных материалов и в приближенных значениях ВЭСП для позитивных материалов и пленок с обращением. Цветные поля на прозрачной подложке измеряются в интервале плотностей от 0 до 3.0, а черно-белые поля на прозрачной подложке — в интервале плотностей от 0 до 5.0. Цветные и черно-белые поля на непрозрачной подложке измеряются на приставке ПДД-4 в интервале плотностей от 0 до 2.5.

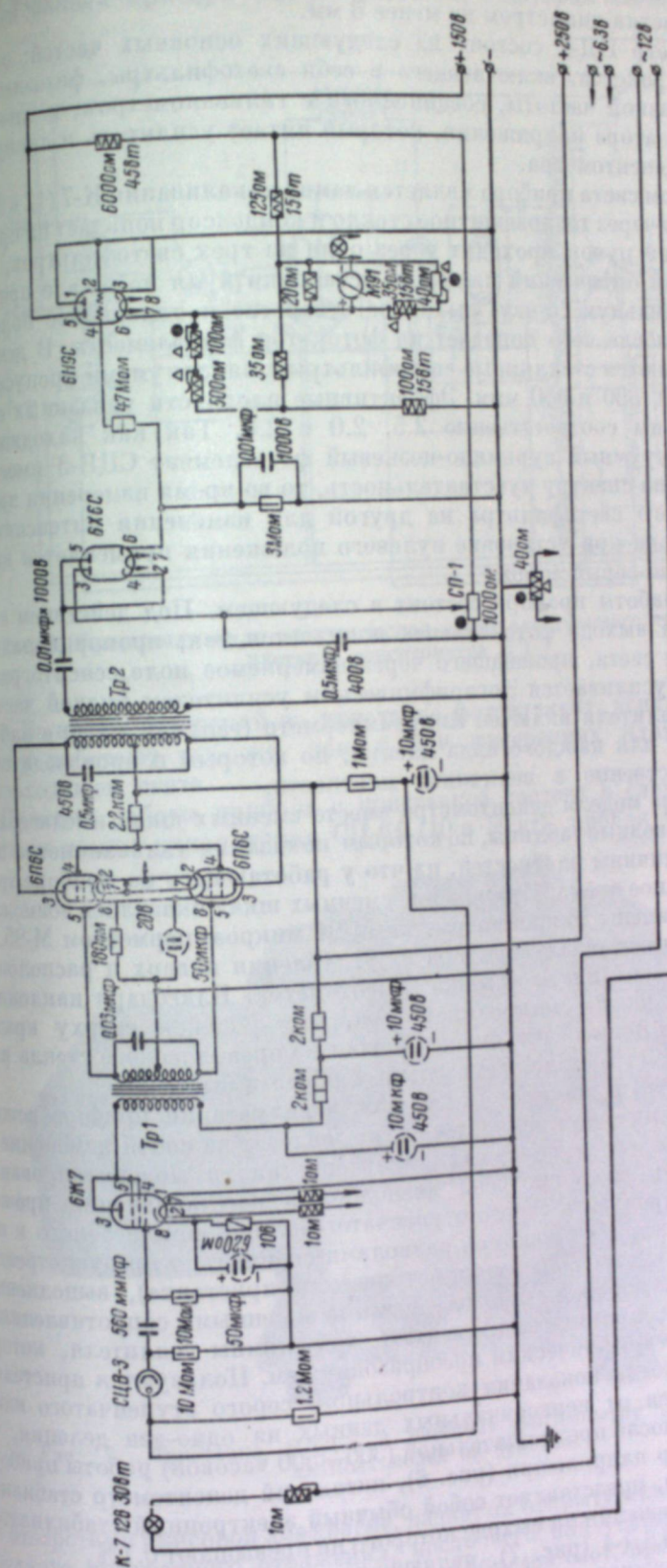


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема цветного денситометра ЦД-7.

Точность измерений плотностей составляет ± 0.02 . На приборе можно измерять участки диаметром не менее 3 мм.

Денситометр ЦД-7 состоит из следующих основных частей: осветительного устройства, включающего в себя светофильтры, фотоэлемента, усилителя низкой частоты, соединенного с гальванометром, и электронного стабилизатора напряжения, который питает усилитель и лампу просвечивания денситометра.

Источником света прибора является лампа накаливания К-7 (12 в 30 вт). Свет от лампы через теплозащитное стекло и конденсор попадает на призму. Далее световой пучок проходит через один из трех светофильтров, через уравнивающий оптический клин для установки нуля на шкале прибора, через собирающую линзу, выходное отверстие и измеряемое поле сенситограммы, после чего попадает на фотокатод фотоэлемента. В денситометре применяются стеклянные светофильтры с максимумами пропускания вблизи $\lambda = 440, 530$ и 650 мкм. Эффективные плотности указанных светофильтров равны соответственно 2.5, 2.0 и 2.8. Так как находящийся в приборе вакуумный сурьмяно-цезиевый фотоэлемент СЦВ-3 имеет неравномерную по спектру чувствительность, то во время измерения при переходе с одного светофильтра на другой для изменения интенсивности светового потока при установке нулевого положения применяется круговой нейтрально-серый клин.

Принцип работы прибора состоит в следующем. Под действием светового пучка на выходе фотоэлемента появляется ток, пропорциональный интенсивности света, прошедшего через измеряемое поле сенситограммы. Этот фототок усиливается логарифмическим усилителем низкой частоты. На выходе усилителя включен микроамперметр (гальванометр) с набором сменных шкал для каждого вида пленки, по которым и производится отсчет непосредственно в величинах плотностей.

Предыдущие модели денситометра вместо сменных шкал имели градуировочные переводные таблицы, по которым показания гальванометра переводились в величины плотностей, на что у работающего на приборе тратилось значительное время. Применение сменных шкал оказалось возможным в результате замены микроамперметра М-91 микроамперметром М-95, позволившей вынести шкалу прибора из углубления наверх и расположить ее сверху основной платы-крышки денситометра. Благодаря наклонному расположению шкалы микроамперметра, находящейся сверху крышки денситометра, и применению сменных шкал из органического стекла работать на денситометре стало значительно удобнее и быстрее.

Учитывая, что в процессе длительной эксплуатации прибора режимы электронных ламп могут измениться, что повлечет за собой изменение его первоначальных градуировочных характеристик, в модернизированном образце прибора предусмотрена возможность восстановления прежних показаний контрольного серого ступенчатого клина, прилагаемого к прибору, путем подстройки режимов радиолампы специально предусмотренным для этого устройством (потенциометрическая приставка), выполненным в виде выносной коробки с проволочными переменными сопротивлениями. Изменяя эти сопротивления, меняют ток лампы усилителя, которая является его логарифмическим преобразователем. Пользуются приставкой только тогда, когда показания контрольного серого ступенчатого клина будут отличаться от первоначальных данных на одно-два деления, что обычно бывает после продолжительной (300—500 часов) работы прибора.

Стабилизатор напряжения (рис. 6), питающий денситометр стабилизированным током, представляет собой обычный электронный стабилизатор, колебания напряжения на выходе которого не превышают 0.1 %.

Приставка ПДД-4 (рис. 7), являющаяся специальным осветительным устройством к денситометру для измерения цветных и черно-белых полей

на фотографических бумагах в отраженном свете, устанавливается на передней панели прибора под его рычагом, в котором находится фотоэле-

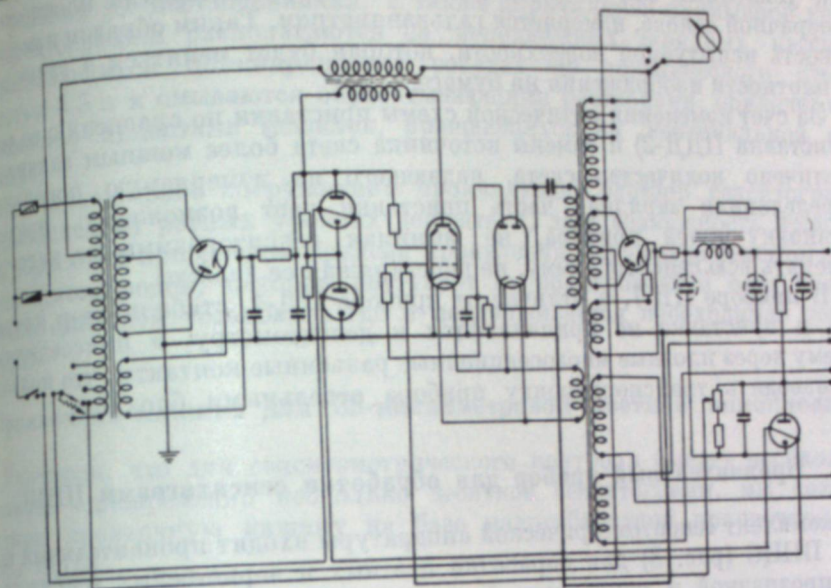


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема электронного стабилизатора цветного денситометра ЦД-7.

мент. Во время измерений на приставке фотоэлемент, усилитель и гальванометр работают так же, как и при измерениях плотностей пленок в проходящем свете.

Принцип работы прибора с приставкой состоит в следующем. Пучок света от лампы накаливания СЦ-64 (10 в 50 вт), пройдя через конденсор

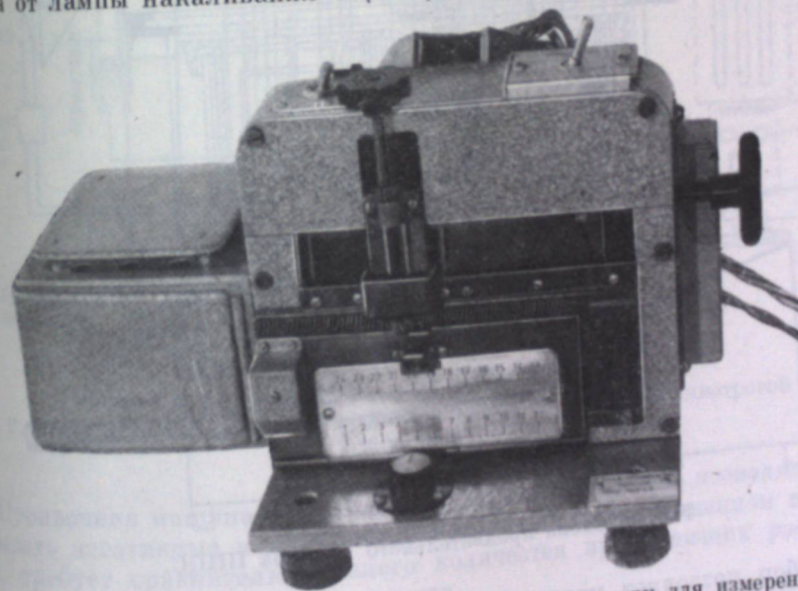


Рис. 7. Приставка ПДД-4 к цветному денситометру для измерения цветных полей на бумагах.

и отверстие в ирисовой диафрагме, падает на открытую поверхность призмы и после полного внутреннего отражения, после чего под углом 90° попадает на испытываемый материал. Отраженный от образца свет, пройдя через конусо-

образный полый тубус, расположенный под углом 45° к измеряемой поверхности, проходит через объектив к фотоэлементу. Возникающий фототок, усиленный тем же усилителем, что и при измерении плотностей на прозрачной основе, измеряется гальванометром. Таким образом измеряется яркость испытуемой поверхности, которая будет меняться в зависимости от плотности изображения на бумаге.

За счет изменения оптической схемы приставки по сравнению со старой (приставка ПДД-2) и замены источника света более мощным значительно увеличено количество света, падающего на измеряемую поверхность. Переделанная зарядная часть приставки дает возможность проверять установку нулей прибора, не вынимая сенситограммы из кассеты, и измерять всю сенситограмму, не перезаряжая ее дважды.

В приборе ЦД-7, в отличие от прибора ЦД-4, стабилизатор напряжения и приставка не припаиваются к денситометру, а присоединяются к нему через плотные многосекционные разъемные контакты, что позволяет производить транспортировку прибора отдельными блоками.

Проявительный прибор для обработки сенситограмм ППЦС

В комплект сенситометрической аппаратуры входит проявительный прибор ППЦС (рис. 8) для обработки цветных и черно-белых сенситограмм на прозрачной и непрозрачной подложке.

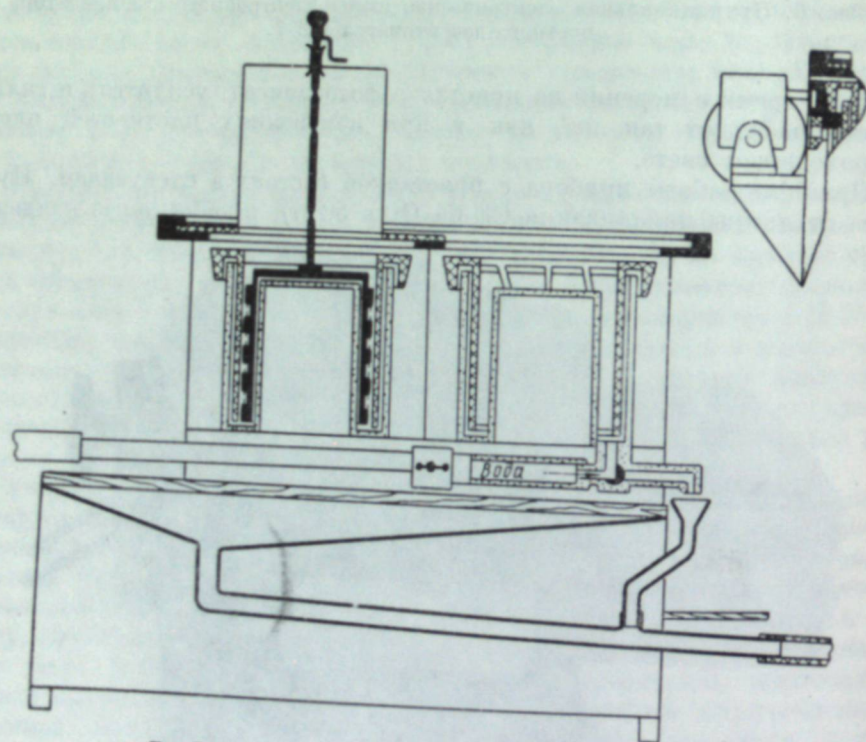


Рис. 8. Схема проявительного прибора ППЦС.

Прибор позволяет проявлять одновременно 8 гибких сенситограмм размером 28×3.5 см, целый кусок 35-миллиметровой киноплёнки длиной 2.0 м или 8 сенситограмм 9×12 см на фотобумаге. Сенситограммы размером 28×3.5 см могут быть проявлены все в течение одного времени или по две при четырех продолжительностях проявления. Сенситограммы размером 9×12 см могут быть проявлены при двух временах проявления.

Сходимость условий проявления достигается путем поддержания постоянства температуры обрабатывающих растворов и создания определенных условий их перемешивания, а также циркуляцией промывной воды. Сенситограммы располагаются на неподвижных зарядных кассетах, вынимающихся цилиндрических сосудах из органического стекла емкостью 3.5 л и омываются обрабатывающими растворами, приводимыми в движение лопастями мешалок, вращающихся на вертикальной оси, прибора.

Последовательное погружение в проявляющий раствор сенситограмм, находящихся на разных уровнях держателя, дает возможность производить обработку при разном времени проявления. Промывка сенситограмм производится водой, которая поступает из водопроводной сети или из сети холодильной установки, где и поддерживается необходимая температура.

Проявочная машина для 35-миллиметровой цветной киноплёнки

Учитывая, что для сенситометрического контроля бывает необходимо проявить одновременно несколько десятков сенситограмм, мы создали цветную проявочную машину на базе малогабаритной проявочной машины 60П-1.

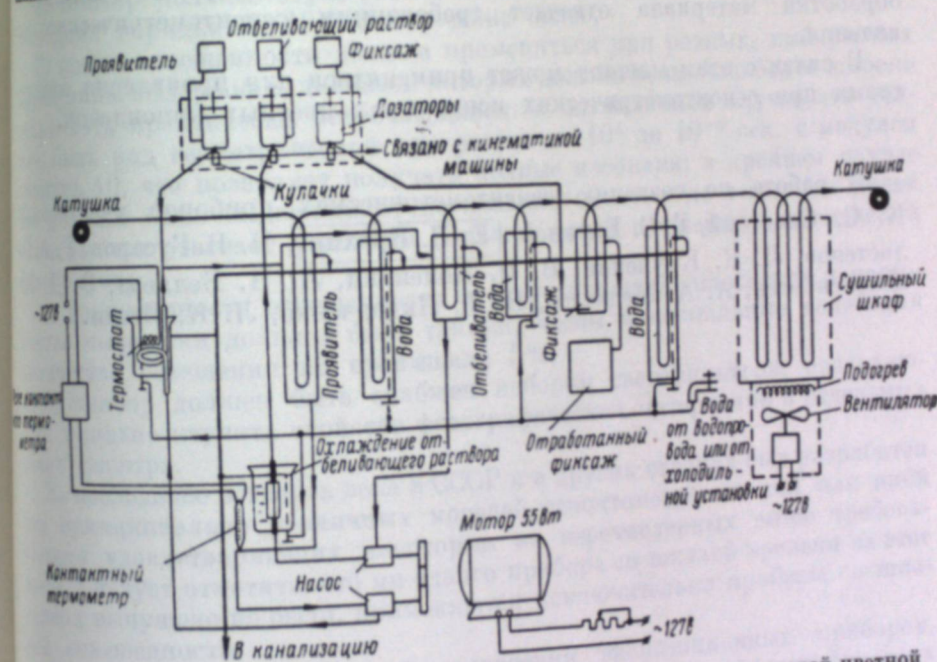


Рис. 9. Схема переоборудованной проявочной машины для 35-миллиметровой цветной киноплёнки.

Проявочная машина 60П-1 очень удобна в работе: она позволяет обрабатывать негативные и позитивные материалы в незатемненном помещении, требует сравнительно малого количества проявляющих растворов при достаточной производительности.

При переоборудовании этой машины для цветного проявления была поставлена задача получить возможность обрабатывать цветной негативный и позитивный материал в различных условиях.

В переделанном образце машины (рис. 9) все металлические части и детали, соприкасающиеся с растворами, были заменены частями и деталями из винипласта. Так как процесс цветного проявления по сравнению

с черно-белым имеет значительно больше операций, для увеличения емкости машины вместо зарядного магазина установлен бак для проявлений, а бак окончательной промывки удлинен. Для поддержания постоянной температуры проявителя сделан специальный термостат с электронагревом, снабженный контактным термометром. Для перемешивания проявляющего и отбеливающих растворов установлены два циркуляционных центробежных насоса. За счет изменения числа оборотов моторов у насосов можно регулировать интенсивность циркуляции растворов. Для поддержания постоянного состава обрабатываемых растворов в баках проявочной машины установлены дозаторы для автоматической подачи в баки освежающих пополнителей.

Освежающие растворы поступают в дозаторы из специальных напорных баков. Все остальные операции — процесс сушки пленки, сматывание ее в ролик, нагрев воздуха и нагнетание его в сушильный шкаф — остались прежними, как это и предусматривалось в машине для черно-белых материалов.

Переделанная под обработку цветных пленок проявочная машина может работать на двух скоростях: 47 и 23.5 м/час. При этом пленка проходит тракт машины соответственно в течение 1.5 и 3 час. Емкость бака для проявителя 30 л.

Предварительные испытания машины показали, что стабильность обработки материала отвечает требованиям сенситометрического проявления.

В связи с этим машина может применяться для проявления сенситограмм при сенситометрических испытаниях цветных кинопленок.

В работе по созданию сенситометрических приборов участвовали: К. С. Спасский, Г. С. Баранов, Е. П. Ерохин, Н. В. Гусаров, Г. А. Голостенов, Л. К. Крупенин, В. П. Копейкин, Л. Н. Беляева, Э. Д. Каценеленбоген, А. А. Медведев, В. Ф. Пидорченко, Л. К. Лесин.

А. М. ИВАНОВ

СОВРЕМЕННЫЕ СЕНСИТОМЕТРЫ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

1. Обзор

Отвечающий современным требованиям универсальный сенситометр должен обладать, по сравнению с обычно встречающимися сенситометрами, рядом особенностей, важнейшими из которых являются следующие:

- 1) должно осуществляться более строгое, чем это было нужно ранее, нормирование спектрального состава экспонирующего света;
- 2) прибор должен осуществлять шкалу освещенности с интервалом последних порядка 1 : 10 000 или даже более;
- 3) шкала освещенности должна применяться при разных, выбираемых по желанию выдержках, диапазон которых должен возможно более широко охватывать практически встречающиеся: в оптимальном случае это должен быть ряд геометрической прогрессии от 10^4 до 10^{-6} сек. с модулем порядка 10, что позволяет получать полные изопаки; в крайнем случае это должны быть выдержки от нескольких десятых до тысячных долей секунды, что отвечает условиям большей части важнейших применений фотографии;

4) равномерность освещенности в экспозиционной плоскости и постоянство выдержки должны быть такими, чтобы максимальные колебания количества освещения не превышали 5%;

5) прибор должен быть снабжен набором светофильтров, позволяющих детально изучить свойства фотографических материалов в отдельных зонах спектра.

За последнюю четверть века в СССР и в других странах был разработан ряд принципиально различных моделей сенситометров, в той или иной степени удовлетворяющих некоторым из перечисленных выше требованиям. Следует отметить, что ни одного прибора со шкалой времени за этот период выпущено не было, применяются исключительно приборы со шкалой освещенности.

Известно несколько путей построения экспозиционных приборов, различающихся между собой способом экспонирования фотографических материалов, характером осветительной системы, методом осуществления шкалы освещенностей и, наконец, конструктивными особенностями решения задачи. В табл. 1 и 2 дана классификация указанных сенситометров.

Как видно из приведенных таблиц, основано на принципе непосредственного освещения всего ступенчатого клина световым пучком от одного [1—3], двух [4], а иногда и четырех [5] источников света (группа А1). Между источником света и клином размещаются затвор, обычно с падающей шторой, и светофильтры. На этом принципе основаны, в частности, два выпускаемых промышленностью стандартизованных прибора: сенситометр ФСР-4 [6], широко распространенный в СССР, и немецкий стандартный сенситометр ДИН [7]. Однако этот простой и легко осуществи-

Таблица 1
Классификация сенситометров, описанных за последние 25 лет в литературе
А. Афокальные приборы

Способы экспонирования	Год	Прибор	Выдержка (сек.)	Авторы
I. Одновременное экспонирование всей сенситограммы.	1934	Стандартный сенситометр ДИН.	0.05	Гольдберг, Лютер [7]
	1940	Стандартный сенситометр ФСР-4.	0.05	Киреев, Черный, Савостьянова [6, 18].
	1941	Сенситометр с конденсаторным разрядом.	0.01	Кюстер и Штейбе [12].
	1946	Сенситометр для контроля процесса обработки.	0.1	Джонсон [9].
	1954	Цветовой сенситометр коротких выдержек.	0.04	Бейлиг [5].
	1955	Многодиапазонный сенситометр для получения изоопак.	От 10^{-5} до 10^3	Эггерт и Вартбург [10].
	1956	Производственный сенситометр.	0.04	Фрилингхаус [4].
	1957	Сенситометр с ксеноновой вспышкой.	0.01, 0.001, 0.0001	Викоф и Эджертоу [11].
	1958	Клиновой сенситометр.	0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 1, 10	ВУЗОРТ [3].
	1945	Сенситометр, соответствующий требованиям стандарта АСА [21].	0.05	Свит [20]
II. Последовательное непрерывное экспонирование сенситограммы.	—	—	—	—
III. Последовательное ступенчатое по полям экспонирование сенситограммы.	—	—	—	—

мый принцип имеет два больших недостатка. Во-первых, использование умеренно мощных ламп накаливания, дающих стабильное и легко воспроизводимое по цветовой температуре и силе света излучение, не позволяет получать высокую освещенность при достаточной ее равномерности по полю; мощные же лампы мало стабильны и характеризуются сложной индикатрисой излучения. Во-вторых, наличие в обоих приборах затвора с падающей шторой ограничивает диапазон выдержек, который может иметь прибор. Для получения высокой и равномерной освещенности в плоскости клина иногда увеличивают количество источников света [8]. Но этот путь приводит к новым затруднениям, в частности к необходимости при замене вышедших из строя ламп контролировать уровень и равномерность освещенности в экспозиционной плоскости и предусматривать регулировку взаимного расположения источников света.

Другая достаточно большая группа приборов (БП) основана на принципе непрерывного последовательного экспонирования сенситограммы щели, ширина которого и скорость движения относительно слоя определяют выдержку. К таким приборам относится сенситометр сверхкороткой фонограммных пленок. Этот сенситометр имеет два объектива и две щели и работает при двух выдержках; испытуемый материал закладывается

Классификация сенситометров, описанных за последние 25 лет в литературе
Б. Приборы с собирающей оптической системой

Способы экспонирования	Год	Прибор	Выдержка (сек.)	Авторы
I. Одновременное экспонирование всей сенситограммы.	1958	Модернизированный сенситометр ФСР-4	0.4, 0.05 и 0.00625	Иванов (данная статья).
	1933	Сенситометр сверхкороткой выдержки.	3.10^{-5} и 0.04	Кюстер и Шмидт [13].
	1939	Маятниковый сенситометр.	0.02	Брандес, Бриссен, Фесс [14].
II. Последовательное непрерывное экспонирование сенситограммы.	1939	Сенситометр с подвижной оптической системой.	От 0.1 до 4.0	Джонс и Моррисон [15].
	1951	Многодиапазонный сенситометр ФСР-8 для получения изоопак.	От 10^{-6} до 10^3	Картужанский и Мейкляр [16].
	1955	Цветовой сенситометр ЦС-2	0.01, 0.05, 0.1	Баранов и Спасский [17].
	1960	Многодиапазонный сенситометр СР-16 для получения изоопак.	От 10^{-6} до 10	Гренишин, Морозов и Солодовников [19].
	1942	Сенситометр последовательного ступенчатого экспонирования.	0.02	Борнеманн и Теттл [22].
III. Последовательное ступенчатое по полям экспонирование сенситограмм.	1943—1954	Сенситометр с переменной диафрагмой.	От 0.001 до 0.05	Лафуасс и Рулло [23].

под сенситометрический клин, изогнутый по поверхности цилиндра, и вращается вместе с ним с помощью пружинного привода. К этой же группе относится: сенситометр [14] на одну выдержку, разработанный фирмой «Агфа», также имеющий цилиндрический клин, но, в отличие от предыдущего, движущимся элементом в нем является полый качающийся маятник со щелью; многодиапазонный сенситометр ФСР-8, разработанный Картужанским и Мейкляром [16], предназначенный для получения полных изоопак, с неподвижной щелью переменной ширины, зеркалом, имеющим три скорости вращения (50, 5 и 0.5 об./сек.), и плоским ступенчатым клином очень малых размеров; сенситометр ЦС-2 для цветных пленок, разработанный Барановым [17] и Спасским и рекомендованный ГОСТом 9160—59 [18] для испытаний многослойных цветных материалов, в котором, в отличие от предшествующих приборов, осуществлено не вращательное движение светового пучка или испытуемого материала, а поступательное прямолинейное движение щели и ее изображения вдоль оси плоского клина; и, наконец, многоступенчатый сенситометр СР-16, разработанный в последнее время Гренишиным, Морозовым и Солодовниковым [19], предназначенный для экспонирования черно-белых материалов при выдержках от 10^{-6} до 10 сек. и более. Неподвижная щель в этом приборе равномерно освещается источником света (ленточная лампа, кинопроекторная лампа К-22 или ртутная лампа СВДШ-1000) с помощью оптической системы. Интервал выдержек от 10^{-6} до 10^{-1} сек. осуществляется изменением скорости вращения зеркала и ширины щели, а от 10^{-1} до 10 сек. — шторным затвором при неподвижном зеркале. Прибор экспонирует через клин сенситограммы размером 24×10 и 110×10 мм. Все перечисленные приборы имеют ту или иную оптическую систему.

Нам известен только один прибор [20], разработанный в 1945 г. в соответствии с требованиями американского стандарта [21], который основан на последовательном непрерывном экспонировании сенситограммы без применения оптических элементов (группа АII).

При принципиальной прогрессивности метода последовательного непрерывного экспонирования фотографических материалов (группы АII и БII), позволяющего создавать на слое очень высокие освещенности и легко варьировать выдержки в больших пределах, все приборы этого типа в большей или меньшей степени обладают общим недостатком — неравномерностью движения изображения щели относительно испытываемого материала, незаметной при больших скоростях приводного механизма, но существенной при преимущественно применяющихся малых скоростях. Это явление порождает неравномерность выдержки и, следовательно, количества освещения для разных участков сенситометрического клина.

К числу приборов с последовательным экспонированием каждого поля сенситограммы в отдельности относятся два сенситометра с оптической системой (группа БIII). Выдержки при этом отсекаются с помощью обтюратора, а шкала освещенности создается сменой диафрагм, изменяющих апертуру оптико-осветительной системы. Это сенситометры Борнемана и Теттла [22], Лафуасса и Рулло [23], принципиально мало отличающиеся между собой. В осветительной системе первого из них применен стеклянный световод с несколькими матированными поверхностями для перемешивания светового пучка, обеспечивающий высокую равномерность освещенности поля сенситограммы.

Следует отметить, что приборы, построенные по принципу последовательного ступенчатого экспонирования, по-видимому, позволяют наиболее доступным способом создавать высокие освещенности на слое. Нам неизвестны, однако, приборы такого рода без собирающей оптической системы, относящиеся к группе АIII.

В подавляющем большинстве случаев в качестве сенситометрических источников света используются лампы накаливания. Но можно применять и газосветные источники света: криптоновые и ксеноновые лампы высокого давления, импульсные лампы-вспышки, а в некоторых случаях также и люминесцентные лампы. Общим преимуществом большинства этих ламп является гораздо большее соответствие спектрального состава их излучения спектральному распределению дневного света¹ и гораздо большая яркость. Импульсные лампы обладают, кроме того, тем достоинством, что их использование делает в принципе ненужным затвор сенситометра. Именно такие источники света использованы в многодиапазонном сенситометре Эггерта и Вартбурга [10]: в интервале выдержек от $2 \cdot 10^{-3}$ до $6 \cdot 10^{-3}$ сек. источником света служит ксеноновая лампа-вспышка без затвора, а при больших выдержках — ксеноновая дуговая лампа непрерывного действия в сочетании с затвором. В США был выпущен также сенситометр с импульсной лампой-вспышкой [11].

Применение всех этих в принципе прогрессивных источников света наталкивается на ряд затруднений. Люминесцентные лампы дневного света, питаемые переменным током, характеризуются сложным составом излучения: постоянным во времени сплошным спектром свечения люминофора и модулированным соответственно частоте переменного тока линейчатым спектром паров ртути. Известные нам образцы криптоновых и ксеноновых дуговых ламп длительного действия обладают недостаточным постоянством светового потока во времени и непригодны для длительной эксплуатации в качестве стандартных излучателей. О некоторых недо-

статках импульсных ламп будет сказано далее. Однако мы думаем, что газосветные источники в дальнейшем найдут себе широкое применение в сенситометрии.

2. Опыт модернизации сенситометра ФСР-4

Постановка задачи. Нами была предпринята попытка усовершенствовать стандартный сенситометр ФСР-4, основанный на принципе одновременного экспонирования всей сенситограммы. При этом мы исходили из того, что этот прибор, стандартизованный ГОСТом 2817—50 для испытаний черно-белых материалов [6], много лет выпускается отечественной промышленностью и что, следовательно, выпуск усовершенствованного прибора такого типа не встретит серьезных трудностей, обычно возникающих при постановке производства новых приборов, особенно измерительных.

Усовершенствование имело главной своей целью расширение диапазона экспозиций в основном в сторону больших количеств освещения. Для этого в прибор была введена цилиндрическая линза, позволявшая путем концентрации светового пучка по одной из осей увеличить освещенность в плоскости ступенчатого клина, а взамен затвора с падающей шторой, дающего одну выдержку в 0.5 сек., установлен электрический затвор на три выдержки, одна из которых в восемь раз больше, а другая в восемь раз меньше принятой до сих пор. Попутно были внесены и некоторые менее существенные изменения.

Особое место занимает введение в прибор светофильтра, гораздо лучше воспроизводящего средний спектральный состав естественного освещения, чем применявшийся до сих пор в сенситометре ФСР-4 светофильтр Са-востьяновой. Предварительные рекомендации в этом направлении даны в отдельной статье [24].

Осветительная система сенситометра. В настоящее время в сенситометре ФСР-4 источником света служит лампа СЦ-62 с коническим спиралеобразным телом накала. Лампа расположена на расстоянии 500 ± 50 мм от ступенчатого клина размером 105×7 мм. Обследование ряда экземпляров этого прибора показало, что максимальная неравномерность освещенности, создаваемая лампой в плоскости клина, составляет в среднем 4.5% при силе света около 100 св. Создаваемая на клине максимальная освещенность около 400 лк оказывается недостаточной для получения полных характеристических кривых некоторых видов фотографических материалов [25], в том числе и цветных, при выдержке 0.05 сек., которую дает затвор с падающей шторой.

Для получения большей освещенности в плоскости клина были испытаны различные осветительные системы. Наиболее приемлемой и достаточно простой оказалась показанная на рис. 1 система, включающая в себя лампу накаливания кинопроекторного типа средней мощности с компактным телом накала и простую цилиндрическую линзу. Линза должна быть расположена так, чтобы ее образующая была параллельной оси сенситометрического клина, т. е. горизонтальной. Тело накала лампы

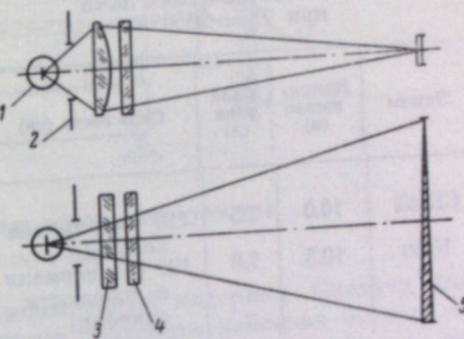


Рис. 1. Оптическая схема нового сенситометра.

1 — лампа; 2 — затвор; 3 — цилиндрическая линза; 4 — светофильтр; 5 — клин.

¹ Это свойство делает ненужными сильно поглощающие светофильтры дневного света.

фильтры: солнечного света для определения эффективной светочувствительности черно-белых материалов, выделяющие для цветных материалов и др. Рукоятка 17, которая может быть заблокирована с кнопкой 8, служит для ввода клина в экспозиционную плоскость. Общий вид прибора показан на рис. 3.

Испытание прибора. В процессе испытания всего прибора проведено:

- 1) определение абсолютной величины и степени постоянства освещенности на поверхности сенситометрического клина;
- 2) определение выдержек, даваемых затвором;
- 3) получение характеристических кривых и сравнение их с кривыми, полученными с помощью сенситометра ФСР-4.

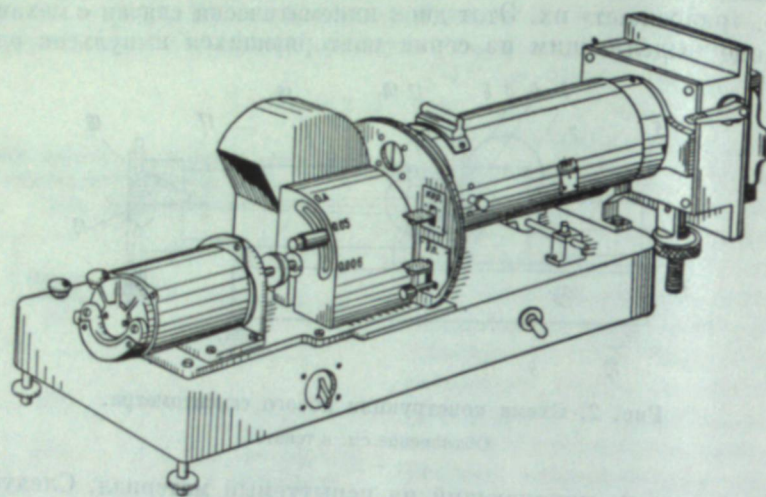


Рис. 3. Общий вид нового сенситометра.

Определение абсолютной величины освещенности производилось с помощью селенового фотоэлемента, закрытого экраном с узкой щелью и соединенного с зеркальным гальванометром ГПГ-2, путем тщательного сравнения фототоков при установке фотоэлемента в новом приборе и в обычном сенситометре ФСР-4, где освещенность известна. В результате таких измерений для ряда ламп К-30 было выяснено, что повышение освещенности в модернизированном приборе составляет от шести до девяти раз по сравнению с освещенностью в обычных сенситометрах ФСР-4 с лампами СЦ-62.

Определение постоянства освещенности по полю производилось с помощью тех же приборов. Фотоэлемент, закрытый экраном с узкой щелью (2×7 мм), перемещался на салазках вдоль экспозиционной плоскости при выведенном клине.

Как оказалось, неравномерность освещенности в экспозиционной плоскости, зависящая от вида индикатрисы излучения ламп К-30, достигает в ряде случаев 7–8%. Эта величина несколько превышает неравномерность освещенности в стандартных сенситометрах ФСР-4, где она составляет в среднем 4.5%. В то же время она значительно ниже, чем непостоянство по полю выдержки в сенситометре ЦС-2, где, как показало проведение трех экземпляров этого прибора, неравномерность движения щели приводит к локальным колебаниям экспозиции порядка 10–15%. При надлежащей отбраковке ламп неравномерность освещенности в нашем сенситометре может быть уменьшена до 5–6%.

Определение выдержек в нашем приборе производилось по системе, разработанной Е. Т. Дубатовко, состоящей из источника света, объектива, вакуумного фотоэлемента и катодного осциллографа со ждущей разверткой.

Результаты испытания нашего трехпредельного затвора показали, что воспроизводимость его работы и соответствие номинальных выдержек фактически наблюдающимся лежат в пределах точности метода испытаний ($\pm 1\%$). Коэффициент полезного действия нового затвора одинаков при всех выдержках, автоматически даваемых затвором, и равняется 0.87.

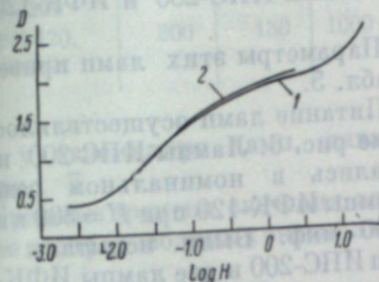


Рис. 4. Характеристические кривые пленки Кинонегатив АМ-1, полученные с помощью нового сенситометра (1) и типового сенситометра ФСР-4 (2).

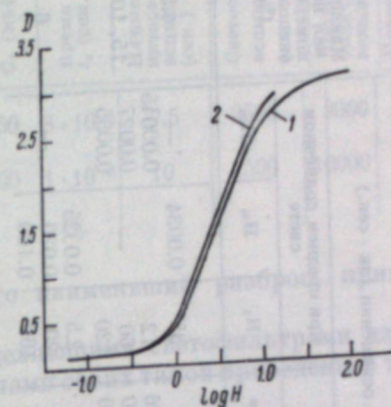


Рис. 5. Характеристические кривые пленки Кинопозитив МЗ, полученные с помощью нового сенситометра (1) и типового сенситометра ФСР-4 (2).

Следует отметить, что точность работы затвора зависит от частоты переменного тока, которым питается синхронный электродвигатель, и в значительной мере определяется ею. Но в современных электрических сетях допускаются колебания частот не более 0.4% [28], следовательно, этот источник ошибок можно не принимать во внимание.

На рис. 4 и 5 приведены характеристические кривые для двух черно-белых материалов, полученных в результате экспонирования на новом приборе и на стандартном сенситометре ФСР-4 и одновременного проявления всех сенситограмм. Как видно из рисунков, характеристические кривые, полученные с помощью нового сенситометра, на 0.9 логарифмической единицы сдвинуты в сторону больших экспозиций, что дает возможность получить более полное представление о свойствах фотографических материалов при больших плотностях почернений. Расхождения в коэффициенте контрастности, которые дают сравниваемые приборы, невелики; так, для кинопозитива МЗ при $\gamma=2.4$ расхождение составляет 4%.

3. Сравнение отечественных моделей сенситометров

В табл. 4 приведены сравнительные светотехнические данные трех типов отечественных сенситометров: ФСР-4, ЦС-2 и нашего нового прибора.

4. Обследование двух типов импульсных ламп как сенситометрических источников света

Для выяснения возможности использования выпускаемых отечественной промышленностью импульсных ламп в сенситометрах Г. Л. Пекарской была проведена в нашей лаборатории экспериментальная работа

Таблица 4

Светотехнические данные трех типов сенситометров

Прибор	Освещенность на первом поле сенситограммы (лк)		Ступенчатый сенситометрический клин			Выдержка (сек.)	Количество освещения (лк · сек.)						Максимальная неравномерность экспозиции (%)	Полный интервал кодирования освещения
	средний солнечный свет	$T_c = 2850^\circ \text{K}$	постоянная K_c	число полей	интервал кодирования на сенситограмме		при $T_c = 2850^\circ \text{K}$			при среднем солнечном свете				
							H_1	H_{11}	H_{12}	H_1	H_{11}	H_{12}		
ФСР-4	70	280	0.15	21	1 : 1000	0.05	14	0.014	—	35	0.0034	—	4.5	1 : 1000
ЦС-2	1200	6400	0.15	30	1 : 22500	0.01	64	—	0.0026	12	—	0.0045	15, 10, 10	1 : 225000
Новый прибор	400	1900	0.15	21	1 : 1000	0.05	320	0.0140	0.0140	60	—	0.0027	6	1 : 64000
						0.10	640	0.0280	0.0280	120	—	0.0055		
						0.00825	12	0.012	—	2.5	0.0125	—		
						0.05	95	0.035	0.020	20	0.020			
						0.40	750	0.750	0.160	160	0.160			

по проверке воспроизводимости мгновенных значений силы света и времени свечения лампы от одной вспышки к другой, а также по определению изменения спектрального состава излучения во времени.

Измерения производились с помощью импульсного фотометра УИФ-1 конструкции Всесоюзного светотехнического института [29]. Испытывались трубчатые импульсные лампы ИПС-200 и ИФК-120 [30, 31].

Параметры этих ламп приведены в табл. 5.

Питание ламп осуществлялось по схеме рис. 6. Лампы ИПС-200 испытывались в номинальном режиме, а лампы ИФК-120 при $U = 300$ в и $C = 800$ мкф. Были испытаны семь ламп ИПС-200 и две лампы ИФК-120. Напряжение питания умножителя фотометра составляло 1050 в. Осциллограммы световой вспышки фотографировались на пленку РФ-3 с помощью объектива «Юпитер-3» с относительным отверстием 1 : 1.5 при максимальном усилении сигнала. Импульсным фотометром регистрировались временные развертки как суммарного излучения лампы (белого света), так и отдельных его составляющих, для чего перед щелью фотометра устанавливались выделяющие светофильтры [25], применяемые при сенситометрическом экспонировании многослойных цветных пленок: фиолетовый, синий, зеленый и красный. Точность воспроизведения сигнала фотометра по времени составляла $\pm 1.5\%$, а по амплитуде — $\pm 4\%$. По расстоянию вдоль оси времени между ординатами, составляющими $1/3$ от максимальных значений ординат, находилась условная величина времени излучения вспышки. Сопоставление кривых разверток, полученных за разными светофильтрами, позволило судить о степени постоянства спектрального состава излучения.

Полученные по осциллограммам временные кривые суммарного излучения вспышек с наименьшими и наибольшими относительными значениями силы света из числа 300 вспы-

Таблица 5

Номинальные параметры исследованных импульсных ламп

Тип и размеры лампы (мм)	Номинальное рабочее напряжение U_0 (в)	Напряжение зажигания U_3 (в)	Напряжение саморобота U_c (в)	Номинальная емкость C_0 (мкф)	Время свечения t_0 (сек.)	Наименьший интервал между вспышками (сек.)	Светосумма вспышки $\int \Phi(t) dt$ (лм · сек.)	Допускаемое количество вспышек	Предел нагрузки лампы $C_0 U_0^2$ (мкф кв)
ИПС-200, 5×200	1250	1100	1900	250	$8 \cdot 10^{-5}$	7.5	3500	3000	600
ИФК-120, 5×50	300	180	1000	2500	$1 \cdot 10^{-6}$	10	2500	10000	25

шек у экземпляра лампы, дававшего наименьший разброс, приведены на рис. 7.

Средние времена свечения за выделяющими светофильтрами для наиболее воспроизводимых экземпляров ламп обоих типов приведены в табл. 6.

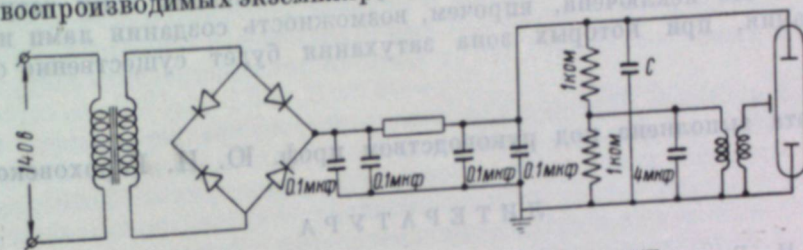


Рис. 6 Схема питания импульсных ламп.

Среднее время свечения находилось по среднему арифметическому из времен свечения 20 вспышек.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы.

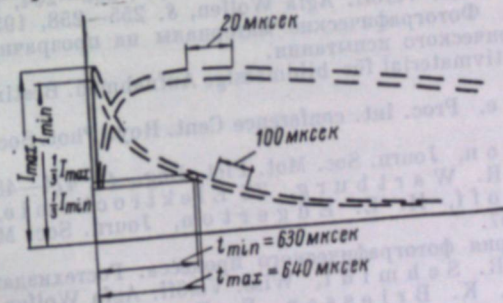


Рис. 7. Осциллографические характеристики вспышек с наименьшими и наибольшими значениями энергий у лампы ИПС-200.

1. Различия суммарной мощности силы света излучения и времени свечения от вспышки к вспышке у отдельных экземпляров ламп достаточно мало: оно составляет 6—7% по мощности и 4% по времени.

2. Заметного уменьшения мощности излучения от вспышки к вспышке при количестве вспышек до 300 и самых разнообразных промежутках времени между ними (от 10 сек. до нескольких дней) не наблюдалось.

3. У ламп ИПС-200 наблюдалось некоторое изменение спектрального состава излучения за время свечения одной вспышки. Это изменение может быть охарактеризовано различием времен свечения примерно на 16%. У ламп ИФК-120 спектральный состав излучения за время свечения оставался неизменным в пределах точности измерения.

Таблица 6

Среднее время свечения
за выделяющимися светофильтрами (мксек.)

Тип лампы	Свет				
	фиолетовый	синий	зеленый	красный	белый
ИПС-200	600	660	665	700	650
ИФК-120	440	450	450	450	450

4. Излучение обоих исследованных типов ламп характеризуется очень протяженной ниспадающей ветвью кривой временной развертки; общее количество энергии в пределах зоны затухания составляет до $\frac{1}{3}$ общей светосуммы. Последнее обстоятельство ставит под вопрос возможность использования таких импульсных ламп для сенситометрических целей без применения управляемых самим свечением лампы затворов, отсекающих зону затухания свечения. Не исключена, впрочем, возможность создания ламп и схем их питания, при которых зона затухания будет существенно сокращена.

Работа выполнена под руководством проф. Ю. Н. Гороховского.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ю. Н. Гороховский. Методы фотографической сенситометрии. Госкиноиздат, М., 1948.
- [2] С. С. Гилёв. Руководство к пользованию стандартной сенситометрической аппаратурой. Оборонгиз, 1952.
- [3] VUZORT, Научно-исследовательский институт техники звука и изображения (проект), Прага.
- [4] K. O. Frielinghaus, Bild und Ton, 9, 202—204, 1956.
- [5] G. Beulig, Wiss. Veröff. Agfa Wolfen, 8, 255—258, 1954.
- [6] ГОСТ 2817-50, Фотографические материалы на прозрачной подложке. Метод общесенситометрического испытания.
- [7] DIN 4512, Negativmaterial für bildmässige Aufnahmen. Bestimmung der Lichtempfindlichkeit.
- [8] A. Marriage, Proc. int. conference Cent. Roy. Phot. Soc., London, 220—223, 1955.
- [9] C. A. Johnson, Journ. Soc. Mot. Pict. Eng., 47, 474—481, 1946.
- [10] J. Eggert, R. Wartburg, ZS Elektrochemie, 8, 353—361, 1955.
- [11] Ch. W. Wyckoff, H. E. Edgerton, Journ. Soc. Mot. Pict. Tel. Eng., 66, 474—479, 1957.
- [12] К. Миз. Теория фотографического процесса. Гостехиздат, 1949.
- [13] A. Küster, R. Schmidt, Wiss. Veröff. Agfa Wolfen, 3, 287—293, 1933.
- [14] H. Brandes, K. Briessen, E. Fess, Wiss. Veröff. Agfa Wolfen, 6, 248—258, 1939.
- [15] L. A. Jones, C. A. Morrison, Journ. Franklin Inst., 228—445, 1939.
- [16] А. Л. Каружанский, П. В. Мейкляр, Журн. эксперим. и теор. физики, 21, 532, 1951.
- [17] Г. С. Баранов, Сб. «Цветная кинематография», изд. «Искусство», М., 1955.
- [18] ГОСТ 9160-59, Фотографические материалы на прозрачной подложке. Метод общесенситометрического испытания многослойных цветофотографических материалов.
- [19] С. Г. Гренишин, В. И. Морозов, А. А. Солодовников, Усп. научн. фотографии, IX, 1962.
- [20] H. Sweet, JOSA, 35, 379—381, 1945.
- [21] PH.2.5 — 1954, American Standard Method for Determining photographic Speed and Exposure Index.
- [22] W. Bornemann, Cl. Tuttle, JOSA, 32, 224—229, 1942.

- [23] P. Lafouasse, M. Roulleau, Sc. Ind. phot. 25, 389—392, 1954.
- [24] Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотографии, IV, 295—306, 1955.
- [25] Свойства фотографических материалов на прозрачной подложке. Сенситометрический справочник, под ред. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилёва, Гостехиздат, М., 1955.
- [26] Электрические лампы накаливания. Каталог, М., 1950.
- [27] Ю. Н. Гороховский, Е. Т. Дубатовко, Кинофотохим. пром., 6, вып. 9, 26—30, 1939.
- [28] Правила технической эксплуатации электростанций и энергосетей Министерства электростанций СССР. Госэнергоиздат, 1953, § 1006.
- [29] И. М. Гуревич, Усп. научн. фотографии, VI, 68—69, 1959.
- [30] И. С. Маршак, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1, 362—372, 1956.
- [31] И. С. Маршак, В. И. Васильев, А. И. Миронова, В. П. Иванов, Р. Г. Вдовченко, Усп. научн. фотографии, VI, 43—52, 1959.

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ, Г. Л. ПЕКАРСКАЯ

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДЕНСИТОМЕТР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ ЧЕРНО-БЕЛЫХ И ЦВЕТНЫХ ПОЛЕЙ

Широкое распространение цветной фотографии и кинематографии наравне с черно-белой фотографией сделало необходимым создание денситометрических приборов, по единой схеме и в эквивалентных оптических условиях измеряющих как черно-белые, так и цветные поля проявленных фотографических материалов, т. е. создание приборов универсальных.

За последние два десятилетия в литературе описано много моделей цветных денситометров. Известные нам более или менее подробно 20 типов таких денситометров [1—18] могут быть систематизированы следующим образом.

1. Подавляющее большинство денситометров предусматривает троекратное измерение каждого цветного поля в трех более или менее узких зонах спектра или даже в трех монохроматических пучках [2, 10], расположенных в разных частях видимого спектра, с целью определения трех зональных или монохроматических плотностей. Лишь в четырех приборах [1, 3, 8] предусмотрено однократное измерение каждого поля путем применения трех клиньев из красителей исследуемого цветофотографического материала, приводящих измеряемое и сравниваемое фотометрические поля к цветовому равенству и дающих непосредственно три значения эквивалентно-серых плотностей, т. е. относительные поверхностные концентрации красителей в элементарных слоях цветного поля [19].

2. Большинство приборов основано на принципе прямого отсчета, лишь семь [1—3, 8, 17, 18] — на дифференциальном принципе измерений.

3. У ряда приборов телесный угол светового пучка, попадающего на приемник излучения, либо равен 2π [7, 11, 12, 14, 15, 18], либо близок к этой величине [6, 9, 13]. Эти приборы измеряют так называемые интегральные (в геометрическом смысле) оптические плотности [20] или близкие к ним величины, аналогичные тому виду плотностей, которые полагается устанавливать у сильно рассеивающих свет полей черно-белых материалов. Поскольку ряд современных цветных материалов (особенно материалы с защищенными краскообразующими компонентами) в проявленном виде достаточно сильно рассеивает свет, такой метод измерения целесообразен и в цветовой денситометрии.

4. Приемниками излучения в большинстве денситометров служат вакуумные фотоэлементы в сочетании с усилителем переменного тока, а в четырех приборах [6, 10, 17, 18] — фотоэлектронные умножители. Лишь три самых старых прибора используют глаз [1—3].

5. Максимальные значения зональных или монохроматических плотностей, могущих быть измеренными, у большинства приборов составляют 3.0. У нескольких приборов [6, 10—12, 14, 18] эта величина достигает 4.0. Исходя из этих сведений, а также из того, что известно о сенситометрических свойствах современного ассортимента черно-белых и цветных фотографических материалов, в частности о крутизне и максимальных

значениях ординат характеристических кривых этих материалов [21] и об используемых на практике участках этих кривых [22, 23], можно заключить, что всякий отвечающий современным требованиям цветовой денситометр должен измерять в трех зонах спектра интегральные оптические плотности, достигающие 4.0, а современный черно-белый денситометр — интегральные плотности в белом свете до 5.0, а, если возможно, то и выше.

В нашей лаборатории в течение ряда лет велись работы по созданию высокочувствительного прибора для измерения плотностей цветных полей на многослойных материалах, в основе которого лежит дифференциальный принцип измерения [24]. Этот принцип измерения отлично зарекомендовал себя в денситометрии черно-белых материалов, и нам представляется, что он более прогрессивен, чем принцип прямого отсчета, также в денситометрии цветных материалов.

После опробования нескольких вариантов аппаратурного оформления этого метода был избран путь создания универсального денситометра для черно-белых и цветных материалов посредством переоборудования клинового фотоэлектрического денситометра для черно-белых материалов ДФЭ-10 [25]. При этом были поставлены следующие условия:

а) возможность измерения интегральных [20] оптических плотностей как в белом свете, так и в свете нескольких заданных сравнительно узких зон видимого спектра с максимумами излучения близ $\lambda=440$ мкм, $\lambda=530$ мкм и $\lambda=670$ или 690 мкм, что отвечает максимумам поглощения красителей многослойных пленок [21, 26];

б) повышение диапазона измеряемых плотностей по сравнению с прибором ДФЭ-10 (где он составляет для белого света 3.0) для зональных плотностей до 4.0, а для белого света до 6.0 при сохранении прежней точности отсчета — $\Delta D=0.02$.

Для осуществления поставленных условий необходимо было прежде всего на три или более порядка повысить чувствительность приемников излучения, имеющихся в приборе. Взамен пары селеновых фотоэлементов, обладающих даже в лучших образцах чувствительностью к белому свету не более $500 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$, были установлены одиннадцатикаскадные фотоэлектронные умножители ФЭУ-32, обладающие при использовавшемся нами напряжении питания 1350 в чувствительностью к белому свету около $7 \frac{\text{а}}{\text{лм}}$, т. е.

на четыре порядка более чувствительных. Эти фотоумножители обладают, кроме того, еще одним преимуществом перед селеновыми фотоэлементами: их спектральная чувствительность, как видно из рис. 1, более равномерна в пределах видимого спектра; особенно существенна их относительно большая чувствительность в красной части спектра.

Питание соединенных между собой параллельно фотоумножителей¹ производилось при напряжении 1350 в и силе тока 2 ма через делитель напряжения высоковольтным стабилизатором ВС-16.

¹ Фотоумножители этого типа могут работать и при более высоких напряжениях, вплоть до 1500—1700 в. При этом их чувствительность, меняющаяся с напряжением по показательному закону, возрастет еще более.

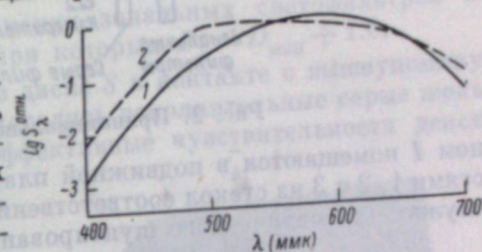


Рис. 1. Относительная спектральная чувствительность селеновых фотоэлементов (1) и фотоумножителей ФЭУ-32 (2).

В оптическую схему прибора ДФЭ-10 были внесены следующие добавления (рис. 2 и 3). Между линзой 1, проецирующей источник света 2 в плоскость диафрагмы на плате приборе 3, и круговым измерительным кли-

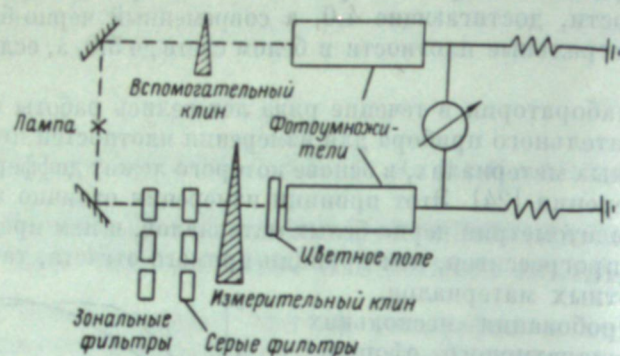


Рис. 2. Принципиальная схема денситометра.

ном 4 помещаются в подвижной планке 5 серые светофильтры с плотностями 1, 2 и 3 из стекол соответственно НС-9, НС-10 и НС-11. Эти фильтры служат для оптического шунтирования основного светового пучка и тем

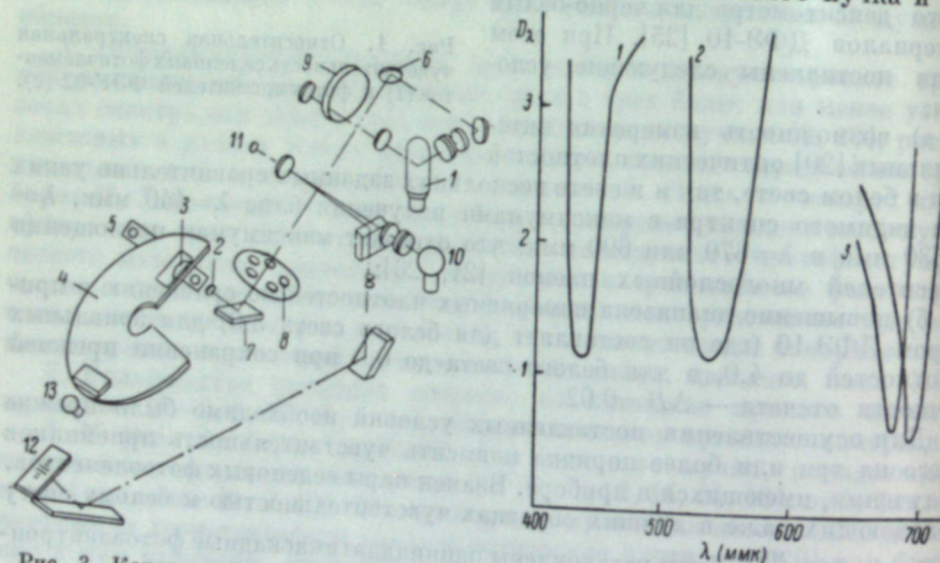


Рис. 3. Конструктивная оптическая схема денситометра.

1 — основная лампа; 2 — проекционная линза; 3 — диафрагма в плато прибора; 4 — круговой измерительный клин; 5 — планка с шунтирующими серыми светофильтрами; 6 и 7 — зеркала; 8 — диск с зональными светофильтрами; 9 — вспомогательный (компенсирующий) клин; 10 — лампа осветительной системы гальванометра; 11 — зеркало гальванометра; 12 — нулевая шкала гальванометра; 13 — отсчетное окно измерительного клина с лампой подсветки.

Рис. 4. Спектральные кривые поглощения зональных светофильтров.

1 — синий; 2 — зеленый; 3 — красный I; 4 — красный II.

самым для увеличения диапазона плотностей, измеряемых прибором до 6,0, при сохранении прежней константы серого измерительного клина помещен револьверный диск 8 с четырьмя цветными светофильтрами, кривые поглощения этих зональных светофильтров представлены на рис. 4, а численные параметры оптических свойств и строение фильтров — в таблице.

Цвет светофильтра	λ_{max} (ммк)	$\Delta\lambda$ (ммк)	Строение светофильтра
Синий	440	25	Интерференционный фильтр + стекло ФС7 (1,5 мм).
Зеленый	585	45	Стекла СЗС18 (10 мм) + ОС11 (2 мм).
Красный I (для позитивных материалов)	675	28	Интерференционный фильтр + стекло КС14 (2,0 мм).
Красный II (для негативных материалов)	690	25	Интерференционный фильтр + стекло КС14 (2,0 мм).

Спектральный интервал пропускания зональных светофильтров $\Delta\lambda$ оценивался разностью длин волн, при которых $D_{\lambda} = D_{\text{мин}} + 1,0$.

Следует, наконец, указать, что в диске 8 в контакте с вышеупомянутыми зональными фильтрами располагались дополнительные серые желатиновые пленки. С их помощью эффективные чувствительности денситометра во всех четырех зонах спектра делались одинаковыми, что удобно при эксплуатации прибора.

На рис. 5 показан общий вид прибора.

Прибор был калиброван по нейтрально-серому клину, измеренному на спектрофотометре СФ-4 в упомянутых выше длинах волн, отвечающих максимумам пропускания зональных светофильтров. Ввиду спектральной избирательности поглощения суспензии коллоидного графита, из которой изготовляются круговые измерительные клинья денситометра ДФЭ-10, угловые размеры делений шкалы плотностей клина для разных зон спектра не сколько различались. Также несколько избирательным было и поглощение шунтирующих серых фильтров из стекла.

Общее испытание всего прибора как цветового денситометра заключалось в определении степени аддитивности зональных плотностей нескольких однослойных пленок во всем диапазоне измеряемых плотностей и степени линейности связи между зональными и монохроматическими плотностями. С этой целью, с одной стороны, на денситометре измерялись зональные плотности однослойных пленок с желтым, пурпурным или голубым красителем, взятых в отдельности или сложенных вместе, а с другой — производилось измерение тех же пленок на спектрофотометре СФ-4 в соответствующих длинах волн. При этом максимальная ширина спектрального интервала на спектрофотометре при измерении максимальных плотностей (4), т. е. в самых трудных условиях, составляла для синего света 5 ммк, для зеленого — 2 ммк, а для красного — 20 ммк.



Рис. 5. Общий вид денситометра.

На рис. 6 сопоставлены суммы зональных плотностей нескольких однослойных пленок одного и того же цвета $\Sigma D_{\text{зон}}$ с зональными плотностями совокупности этих пленок $D_{\text{зон}}$ и, соответственно, для монохроматических излучений ΣD_{λ} с D_{λ} . На рис. 7 сопоставлены в свою очередь величины $D_{\text{зон}}$ с D_{λ} .

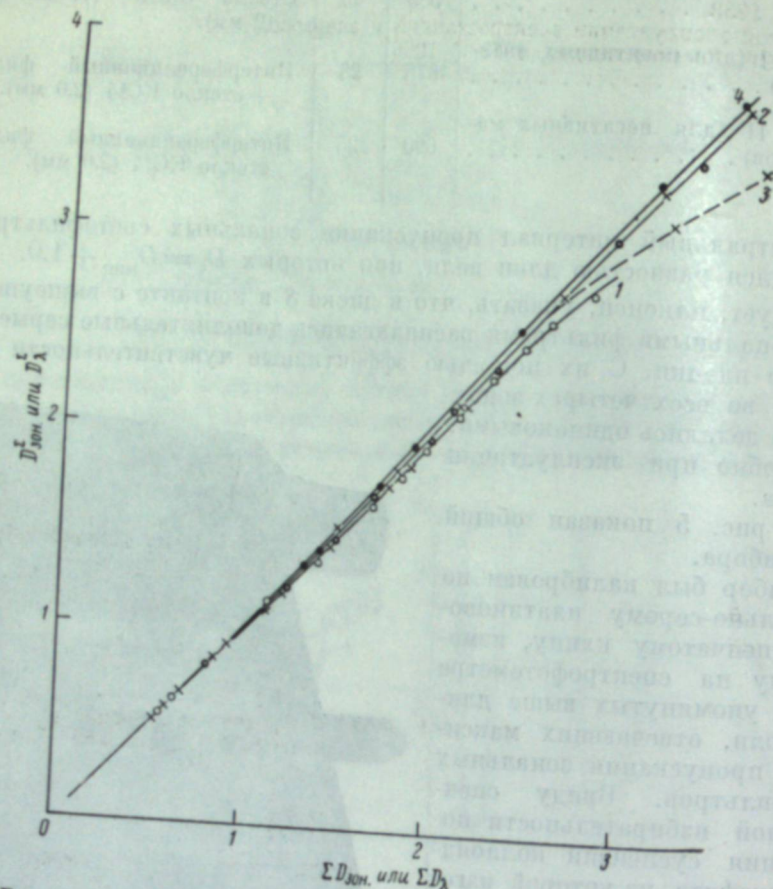


Рис. 6. Проверка аддитивности монохроматических (измерения на спектрофотометре) и зональных (измерения на денситометре) плотностей для цветных полей, составленных из нескольких слоев одного красителя.

1 — синий свет (желтые поля), $D_{\lambda}^{\text{с}}$ и $D_{\text{зон}}^{\text{с}}$; 2 — зеленый свет (пурпурные поля), $D_{\lambda}^{\text{з}}$ и $D_{\text{зон}}^{\text{з}}$; 3 — красный свет (голубые поля); 4 — то же, $D_{\text{зон}}^{\text{к}}$.

Оказывается, что во всем исследованном диапазоне плотностей (до 3.6) аддитивность строго соблюдается ($D^{\Sigma} = \Sigma D$) для пурпурных пленок в зеленом свете, а также для голубых пленок в красном свете при измерениях денситометром. Для тех же голубых пленок при измерении их на спектрофотометре наблюдаются отклонения от аддитивности, начиная с $D = 2.7 \div 2.8$. Для желтых же пленок в синем свете на обоих приборах отклонения от аддитивности становятся заметными уже при $D = 2.1$.

Что касается линейности функций $D_{\text{зон}}^{\Sigma} = f(D_{\lambda}^{\Sigma})$, то таковая имеет место во всем диапазоне плотностей при измерении пурпурных пленок в зеленом свете и желтых пленок в синем свете при угловом коэффициенте, несколько меньшем единицы. В случае же измерения голубых

пленок в красном свете наблюдаются отклонения от линейности при тех же $D = 2.7 \div 2.8$; зато угловой коэффициент почти равен единице. Наблюдающиеся при высоких плотностях отклонения объясняются в основном влиянием рассеяния света в цветных полях; это рассеяние незначительно при малых концентрациях красителя в поле и существенно при больших концентрациях, особенно при сложении нескольких пленок вместе. Естественно, что эти отклонения должны быть большими в случае измерений на спектрофотометре СФ-4, где расстояние от измеряемого

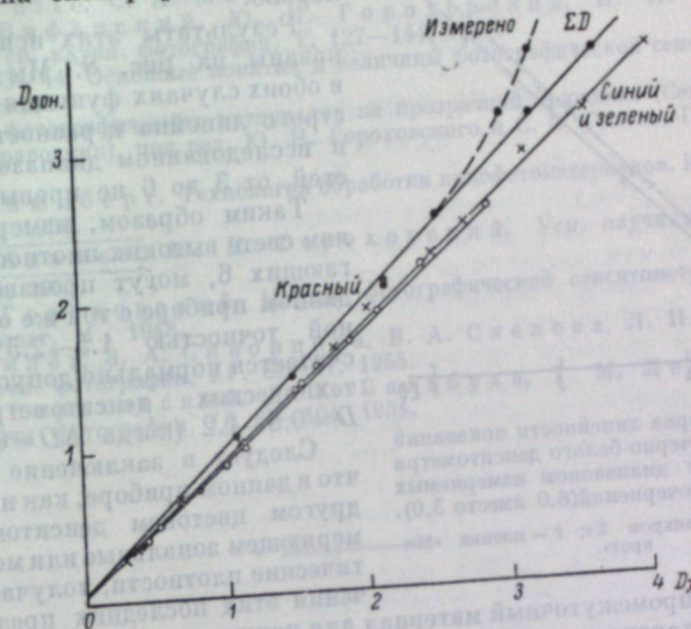


Рис. 7. Проверка линейности показаний прибора как цветового денситометра; сравнение плотностей цветных полей из одного красителя, измеренных на спектрофотометре (D_{λ}) и на денситометре ($D_{\text{зон}}$).

поля до приемника излучения велико (десятки миллиметров), в то время как в денситометре оно очень мало: поверхность фотокатода умножителя отстоит от измеряемого поля на расстоянии всего 1.5 мм. Кроме того, измерения больших плотностей на спектрофотометре в красном свете производятся, как указывалось выше, излучениями достаточно широкого спектрального интервала ($\Delta\lambda \approx 20$ мкм).

В этой связи характерно, что показанная на рис. 7 сплошной линией функция $\Sigma D_{\text{зон}} = f(D_{\lambda}^{\Sigma})$, в отличие от функции $D_{\text{зон}}^{\Sigma} = f(D_{\lambda}^{\Sigma})$, строго линейна.

Можно считать, что, несмотря на наблюдающиеся в некоторой мере отклонения от аддитивности и линейности, испытания прибора свидетельствуют о том, что его показания с достаточной для практики точностью характеризуют истинные значения зональных плотностей цветных полей до 3.5 и даже выше. Действительно, описанные выше испытания проводились в самых жестких условиях: для полей, содержащих лишь один краситель и, следовательно, обладающих наибольшей из всех возможных спектральной избирательностью поглощения. Реально же встречающиеся цветные изображения всегда образуются теми или иными сочетаниями всех трех красителей многослойной пленки, следовательно, обладают спектрально менее избирательным поглощением. Для таких полей указанные отклонения оказываются существенно меньшими.

Общее испытание прибора как черно-белого денситометра с широким диапазоном измеряемых плотностей заключалось в проверке степени аддитивности плотностей нескольких сложенных вместе почернений, по отдельности измеренных на том же приборе, т. е. в установлении соблюдения равенства $D^2 = \Sigma D$ для белого света. Измерялись почернения на двух пленках: «Микрат», проявленное серебро которой обладает высокой дисперсностью, и «Панхром X», серебро которого низкодисперсно.

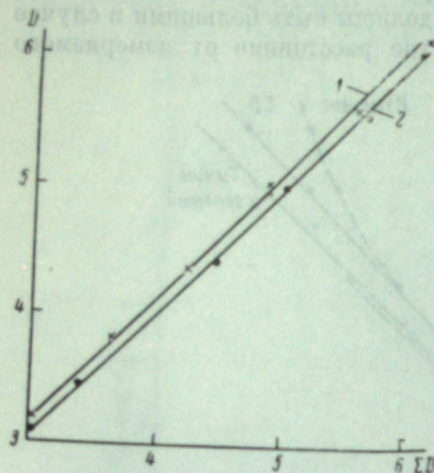


Рис 8. Проверка линейности показаний прибора как черно-белого денситометра с удвоенным диапазоном измеряемых плотностей почернений (6.0 вместо 3.0). 1 — пленка «Панхром X»; 2 — пленка «Микрат».

Результаты этих испытаний показаны на рис. 8. Мы видим, что в обоих случаях функция $D^2 = f(\Sigma D)$ строго линейна и разность $D^2 - \Sigma D$ в исследованном диапазоне плотностей от 3 до 6 не превышает 0.15.

Таким образом, измерения в белом свете высоких плотностей, достигающих 6, могут производиться на данном приборе с той же относительной точностью 1.5—2.5%, какая считается нормально допустимой для технических денситометров при $D=0.8-1.2$ (когда $\Delta D=0.02$).

Следует в заключение отметить, что в данном приборе, как и во всяком другом цветовом денситометре, измеряющем зональные или монохроматические плотности, получаемые значения этих последних представляют собой лишь промежуточный материал для получения искоемых трехмерных численных характеристик цветного поля: поверхностных концентраций красителей в элементарных слоях цветного поля (в том числе выражаемых эквивалентно-серыми плотностями) или эффективных плотностей цветного поля по отношению к заданной системе приемников. Нахождение этих численных характеристик требует решения системы трех линейных уравнений [26, 19], где аргументами служат измеренные на денситометре плотности. Это может быть сделано табличным методом, по номограмме или с помощью специального счетно-решающего устройства.

Выводы

Описан клиновой фотоэлектрический денситометр универсального типа, снабженный фотоумножителями и позволяющий измерять с воспроизводимостью $\Delta D=0.02$ интегральные плотности почернений до 6.0 и зональные плотности цветных полей до 4.0.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. M. Evans, JSMPT, 37, 194—201, 1938.
- [2] H. Keilich, ZS wiss. Phot., 41, 175—182, 1942.
- [3] W. Schneider, H. Berger, ZS wiss. Phot., 42, 43—52, 1943.
- [4] W. Behrendt, Wiss. Veröff. Agfa, 7, 32—36, 1951.
- [5] M. H. Sweet, JSMPT, 44, 419—435, 1945; Electronics, 8, 102, 1945.
- [6] M. H. Sweet, JSMPT, 54, 35—62, 1950.
- [7] R. M. Evans, W. T. Hanson jr., W. L. Brewer. Principles of color photography. N.-Y.—London, 1953.
- [8] A. C. Williams, JSMPT, 56, 1—12, 1951.
- [9] A. F. Thiels, JSMPT, 56, 13—22, 1951.

- [10] A. C. Lapsley, J. P. Weiss, JSMPT, 56, 23—39, 1951.
- [11] F. P. Herrnfeld, JSMPT, 59, 184—190, 1952.
- [12] K. G. Macleish, JSMPT, 60, 696—708, 1953.
- [13] Г. С. Баранов, Сб. «Цветная кинематография», изд. «Искусство», М., 1955, стр. 64—90.
- [14] J. G. Fraayne, J. H. Jacobs, JSMPT, 64, 67—71, 1955.
- [15] J. G. Statt, W. R. Weller, J. E. Jackson, JSMPT, 65, 216—221, 1956.
- [16] R. Görisch, B. Kluth, Bild und Ton, 10, 68—69, 97—101, 1957.
- [17] A. F. Thiels, Sc. Ind. phot., 28, 76—77, 1957.
- [18] W. E. White, C. A. Morrison, Phot. science a. eng., 2, 164—169, 1958.
- [19] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Усп. научн. фотографии, V, 127—144, 1957.
- [20] ГОСТ 2653—44. Основные понятия и величины фотографической сенситометрии. Терминология.
- [21] Свойства фотографических материалов на прозрачной подложке (Сенситометрический справочник), под ред. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилёва, Гостехиздат, М., 1955.
- [22] И. Б. Блюмберг. Технология обработки кинофотоматериалов. Изд. «Искусство», М., 1958.
- [23] Н. П. Адашев, Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотографии, VIII, 134, 1962.
- [24] Ю. Н. Гороховский. Методы фотографической сенситометрии, гл. 4. Госкиноиздат, М., 1948.
- [25] С. С. Гилёв, З. А. Скворцова, В. А. Слепова, Л. Н. Юлина, Усп. научн. фотографии, IV, 82—87, 1955.
- [26] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотографии, II, 85—104, 1954.

С. А. АНИСИМОВ

РЕГИСТРИРУЮЩИЙ ДЕНСИТОМЕТР ДЛЯ ЧЕРНО-БЕЛЫХ СЕНСИТОГРАММ

Из всех операций контроля производства кинофотоматериалов сенситометрический контроль меньше всего подвергся автоматизации. Особенно это можно сказать в отношении автоматизации денситометрических измерений. Вместе с тем автоматизация этого процесса может обеспечить сразу несколько практических преимуществ перед существующей неавтоматической техникой денситометрических измерений.

Прежде всего автоматизация процесса промера сенситограмм значительно облегчит труд лаборантов. Существующая техника требует большого напряжения зрения, что при непрерывной работе в течение дня ведет к утомлению зрения, а при каждодневной работе в течение нескольких лет часто приводит к ухудшению зрения.

Автоматические промеры сенситограмм и автоматическое вычерчивание характеристических кривых исключают субъективные факторы, следовательно, и неизбежные субъективные ошибки. Известно, что такие ошибки существуют как при измерении, так и при вычерчивании характеристических кривых, что весьма часто приводит к недоразумениям, особенно между предприятиями, производящими кинофотоматериалы и потребляющими их.

Автоматизация, наконец, значительно повысит производительность труда. Известно, например, что при существующей технике контроля с помощью цветных денситометров типа ЦД-4, каждый из которых для ускорения операций обслуживают два лаборанта, на копировальной фабрике для измерения и вычерчивания трех характеристических кривых одной сенситограммы требуется около 15 мин. Вследствие этого удается проверить только около $\frac{1}{3}$ осей, обрабатываемых фабрикой. Применение вместо ЦД-4 автомата для вычерчивания характеристических кривых позволило бы в несколько раз увеличить пропускную способность контрольной операции при одном обслуживающем лице.

В Лаборатории электроники НИКФИ был сделан опытный лабораторный образец прибора для автоматического измерения сенситограмм с одновременной автоматической регистрацией результатов измерения в форме готовой характеристической кривой.

Принцип действия прибора заключается в следующем (см. рис. 1). Свет от источника, пройдя через конденсор, попадает на зеркальный обтюратор, вращающийся со скоростью 3000 об./мин. Обтюратор имеет пульсами проходит по двум направлениям. В первом направлении свет проходит через калиброванный оптический клин и затем направляется оптической системой на фотоэлемент. В другом направлении свет, отраженный зеркалом обтюратора, проходит через измеряемое поле и затем также направляется на тот же фотоэлемент.

Таким образом происходит процесс попеременного сравнения двух световых пучков, из которых один проходит через измеряемый участок сенситограммы, а другой — через калиброванный клин. Ток, получаемый от фотоэлемента, поступает на усилитель переменного тока, который исключает постоянную составляющую. Вследствие этого при равенстве световых потоков, что будет иметь место только при одинаковом значении сравниваемых плотностей, напряжение на выходе усилителя отсутствует. В случае же различия плотностей будет иметь место неравенство световых потоков, показателем чего явится наличие на выходе усилителя переменного тока, частота которого равна частоте обтюрации, т. е. 50 гц, причем

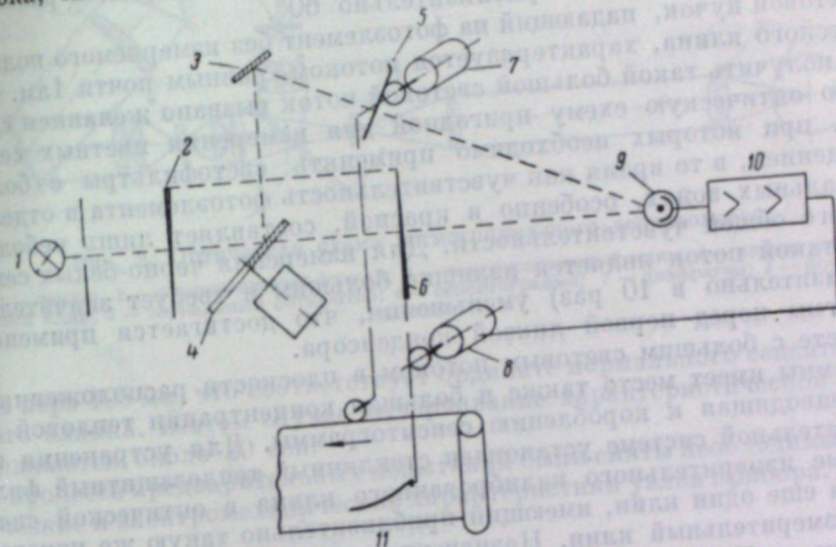


Рис. 1. Общая схема регистрирующего денситометра.

1 — лампа; 2 — конденсор; 3 — зеркало; 4 — зеркальный обтюратор; 5 — сенситограмма; 6 — измерительный клин; 7 — двигатель; 8 — реверсивный двигатель; 9 — фотоэлемент; 10 — усилитель; 11 — бланк.

в зависимости от того, какой из двух световых потоков больше, фаза напряжения сдвигается на 180° .

Следовательно, измерение плотности в описываемом приборе производится нулевым дифференциальным методом. Применение нулевого метода позволяет автоматизировать процесс измерения следующим образом. Калиброванный клин размещается в движущейся каретке, с которой связано перо регистрирующей части прибора. Движение каретки и реверсивного двигателя осуществляется с помощью двухфазного фазочувствительного реверсивного двигателя, включаемого на выходе фотоусилителя.

Кроме того, в приборе имеется двигатель, который передвигает сенситограмму и синхронно с ней перфорированную бумажную ленту, служащую бланком для характеристической кривой. Движение сенситограммы и бланка должно производиться в строгих масштабных соотношениях с тем, чтобы перемещению сенситограммы на одно поле деления соответствовало бы перемещение бумажного бланка на одно деление координатной сетки.

При перемещении сенситограммы и бумажного бланка происходит автоматическое поддержание равенства световых потоков путем автоматического перемещения калиброванного клина и одновременно с ним перемещения пера, которое, фиксируя на бланке плотность измеряемого поля, вычерчивает характеристическую кривую.

Описанная принципиальная схема получила свое осуществление в лабораторном образце, оптическая схема которого показана на рис. 2. Источником света в приборе является лампа накаливания типа СЦ-62 (12 в, 100 вт). Общий световой поток лампы при номинальном режиме равен 1750 лм. Лампа имеет малогабаритное тело накала в форме спирали, максимальный диаметр которой равен 4,8 мм.

Калиброванный оптический клин выполнен из коллоидного графита и имеет константу приблизительно 0.143.

В качестве приемника света применен вакуумный фотоэлемент типа СЦВ-3. Диаметр светового пучка в плоскости сенситограммы равен 3 мм. Апертурный угол равен приблизительно 60° .

Световой пучок, падающий на фотоэлемент без измеряемого поля и без оптического клина, характеризуется потоком, равным почти 1 лм. Стремление получить такой большой световой поток вызвано желанием сделать данную оптическую схему пригодной для измерения цветных сенситограмм, при которых необходимо применять светофильтры с большим поглощением, в то время как чувствительность фотоэлемента в отдельных спектральных зонах, особенно в красной, составляет лишь небольшую часть его общей чувствительности. Для измерения черно-белых сенситограмм такой поток является излишне большим и требует значительного (приблизительно в 10 раз) уменьшения, что достигается применением диафрагмы перед первой линзой конденсора.

Вместе с большим световым потоком в плоскости расположения сенситограммы имеет место также и большая концентрация тепловой энергии, приводящая к короблению сенситограммы. Для устранения этого в осветительной системе установлен стеклянный теплозащитный фильтр.

Кроме измерительного калиброванного клина в оптической системе помещен еще один клин, имеющий приблизительно такую же константу, что и измерительный клин. Назначение этого клина — компенсировать изменение мощности светового пучка, падающего на фотоэлемент, при различных величинах измеряемой плотности. Будучи помещен в той же каретке, что и измерительный клин, компенсационный клин расположен так, что, когда при движении каретки измерительный клин входит в световой поток более плотной своей частью, компенсационный клин перемещается в сторону меньшей плотности. Таким образом, сумма плотностей измерительного и компенсационного клиньев в световом потоке всегда приблизительно равна 3.0.

Подобную компенсацию принципиально можно получить и без компенсационного клина, если поместить в одном плече и измеряемую сенситограмму, и калиброванный клин. Однако в рассматриваемом устройстве этот метод не мог быть реализован из-за конструктивных трудностей: графитовые клинья обладают значительной мутностью, и для получения правильных результатов измерения клин необходимо располагать или в непосредственном контакте с эмульсионным слоем измеряемой сенситограммы, или на таком малом расстоянии, которое конструктивно невыполнимо.

Описываемый опытный образец прибора (рис. 3) оформлен в виде настольной конструкции с габаритами $790 \times 620 \times 300$ мм (не считая верхних надстроек) и питается от сети переменного тока с напряжением 127 в.

В приборе измеряются сенситограммы, экспонированные в сенситометре ЦС-2 на перфорированной 35-миллиметровой пленке под оптическим клином нормального размера. Следует заметить, что в этом случае получаемые кривые имеют ступенчатую форму. Для получения бесступенчатых характеристических кривых сенситограммы должны экспонироваться под непрерывным оптическим клином.

На первом этапе испытаний образца прибора для более точного изучения погрешностей использовался бумажный бланк шириной 303 мм, на котором размах пера, соответствующий изменению плотности от 0 до 3, равен 210 мм. Этому размаху соответствовало перемещение клина также на 210 мм. В дальнейшем запись велась на бланке шириной 145 мм с раз-

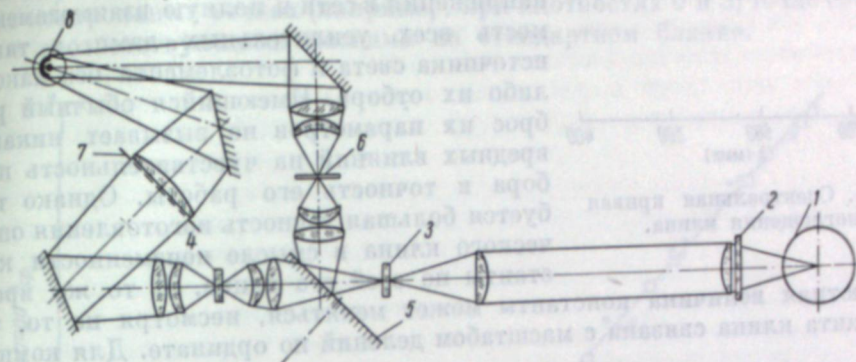


Рис. 2. Оптическая схема регистрирующего денситометра.

1 — лампа; 2 — теплозащитный фильтр; 3 — компенсационный клин; 4 — измерительный клин; 5 — зеркальный гальванометр; 6 — сенситограмма; 7 — диафрагма; 8 — фотоэлемент.

махом пера 105 мм, что соответствует ординате нормального сенситометрического бланка. В этом случае вычерчивание характеристической кривой продолжается около 20 сек.

В процессе предварительных испытаний были сняты необходимые свето-оптические и электромеханические характеристики узлов прибора, а также

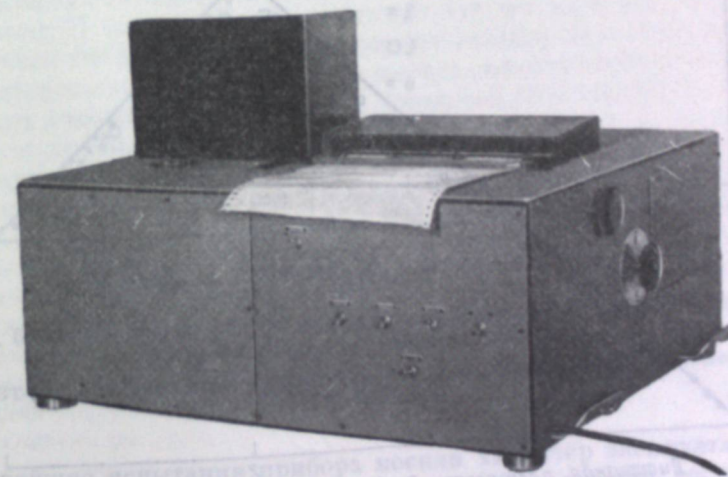


Рис. 3. Общий вид опытного образца регистрирующего денситометра.

проверена точность работы устройства в целом на бланках с размахом пера как 210, так и 105 мм. Испытания подтвердили полностью расчетные параметры прибора по чувствительности и точности. Но были обнаружены и некоторые дефекты конструкции. Так, оказалось, что хроматическая и некоторые другие aberrации оптической системы приводит к изменению положения нулевой точки при измерениях цветных сенситограмм под различными фильтрами. Кроме того, как можно видеть из рис. 4, клин обладает некоторой разноселективностью поглощения, что приводит также и к значительной разно-

масштабности показаний за различными светофильтрами. Однако эти факторы никак не сказываются при измерениях черно-белых или других одноцветных сенситограмм.

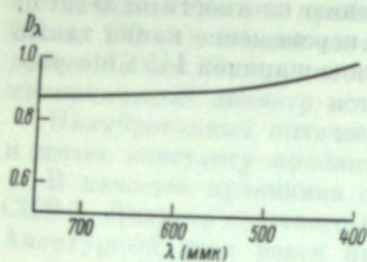


Рис. 4. Спектральная кривая поглощения клина.

Практические испытания подтвердили нетребовательность прибора к стабильности напряжения в сети и полную взаимозаменяемость всех усилительных ламп, а также источника света и фотозлемента без какого-либо их отбора. Имеющийся обычный разброс их параметров не вызывает никаких вредных влияний на чувствительность прибора и точность его работы. Однако требуется большая точность изготовления оптического клина в смысле неизменности константы по всей его длине. В то же время абсолютная величина константы может меняться, несмотря на то, что константа клина связана с масштабом делений по ординате. Для компен-

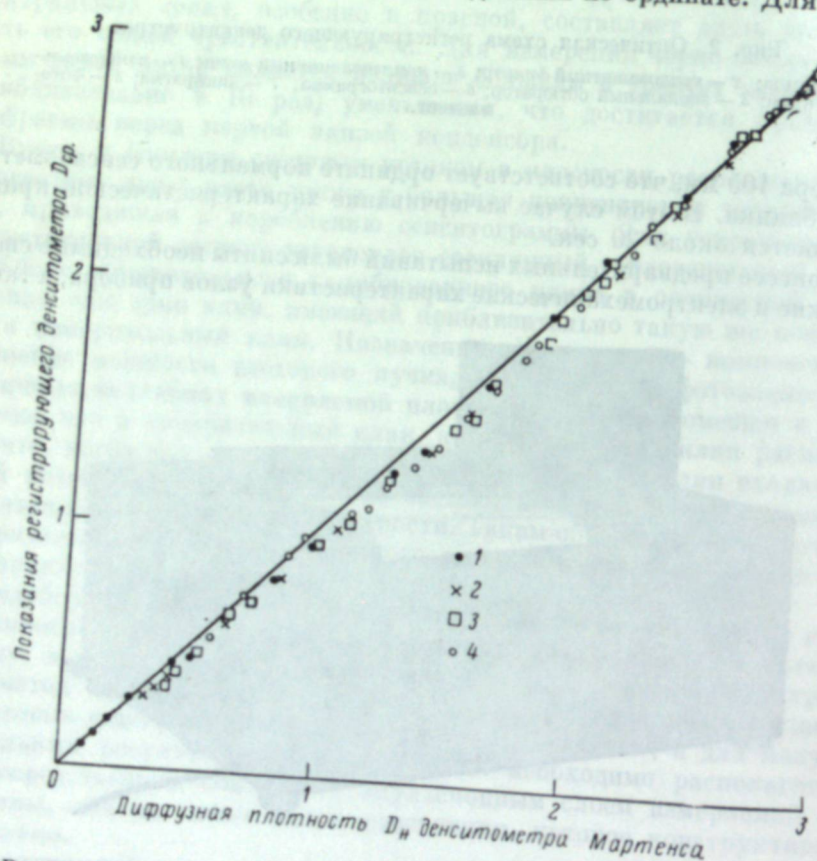


Рис. 5. Соотношение между средними значениями плотности, измеренными на регистрирующем денситометре ($D_{ср}$) без применения рассеивателя в оптической системе, и диффузной плотностью, измеренной на поляризационном денситометре Мартенса ($D_{д}$).
1 — ЗТ-6; 2 — дубль-позитив цветоделительный; 3 — кионегатив МЗ; 4 — кионегатив типа Д.

сацией могущей быть масштабной разницы в кинематике привода каретки с клином, которая приводится в движение гибкой тягой из стальной струны, предусмотрена специальная конструкция тянущего шкива с из-

меняемым диаметром. Шкив выполнен в виде большого количества секторов, расходящихся или сжимающихся внутренней конусной втулкой. Таким образом, в случае некоторых отклонений средней константы клина от требуемой, возможна точная установка масштабного отношения между ходом каретки с клином и каретки с пером так, чтобы положение пера в двух контрольных точках (например, при плотностях 0 и 3) точно совпадало с соответствующими метками на стандартном бланке.

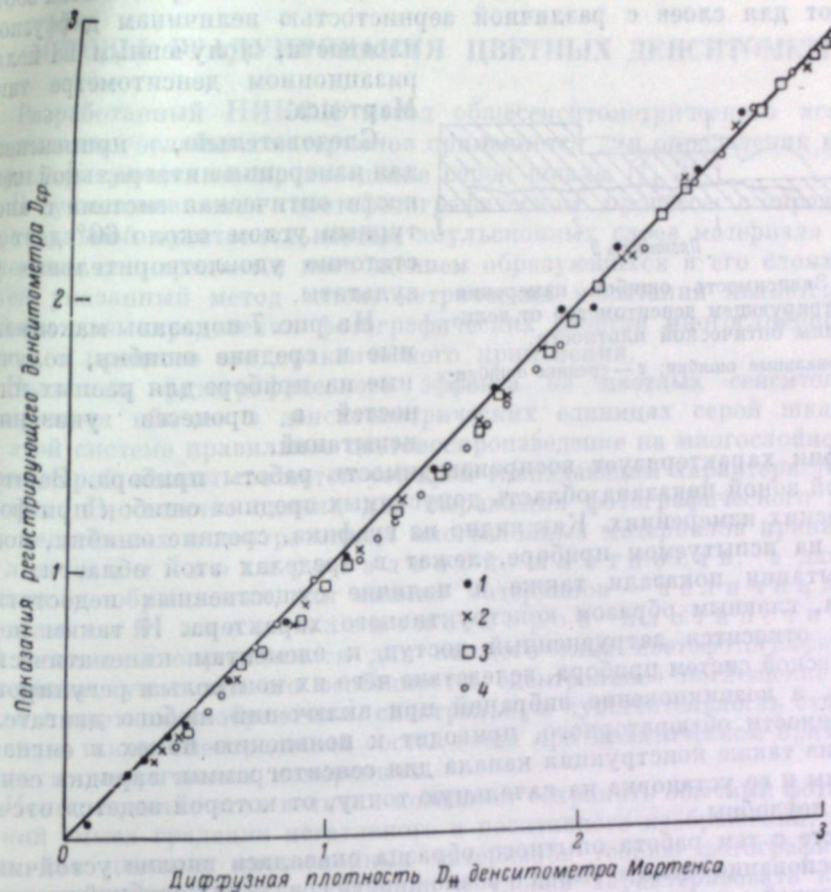


Рис. 6. То же, что на рис. 5, при введении в оптическую схему денситометра рассеивателя (молочного стекла).

1 — ЗТ-6; 2 — дубль-позитив цветоделительный; 3 — кионегатив МЗ; 4 — кионегатив типа Д.

Дальнейшие испытания прибора носили характер эксплуатационных, во время которых проверялась стабильность его работы, воспроизводимость результатов и точность показаний. Было записано более 2500 характеристических кривых. При этом подбирались сенситограммы с различной зернистостью. Для проверки влияния на показания прибора зернистости слоев часть испытаний была повторена с применением в оптической системе молочного стекла, которое устанавливалось по пути прохождения света перед измеряемой сенситограммой в непосредственном контакте с ней. Результаты испытаний, приведенные на рис. 5 и 6, свидетельствуют о том, что показания, полученные на испытуемом приборе в области малых и больших плотностей, не отличаются от показаний денситометра Мартенса. Что же касается плотностей, лежащих в пределах от 1 до 2, то испытуемый прибор дает несколько преуменьшенные величины. Это

можно объяснить тем, что калиброванный клин, использованный в приборе, имеет непрямолинейную характеристику. Измерения клина с помощью поляризационного денситометра Мартенса показали, что в зоне плотностей от 1.2 до 1.8 действительно имеет место небольшой изгиб в сторону увеличения плотностей, что при измерениях сенситограмм и должно давать соответствующее понижение показаний.

Рис. 5 и 6 показывают, кроме того, что результаты измерений с рассеивателем из молочного стекла и без него одинаковы и практически соответствуют для слоев с различной зернистостью величинам диффузной плотности, полученным на поляризационном денситометре типа Мартенса.

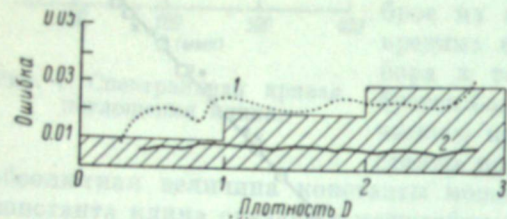


Рис. 7. Зависимость ошибок измерения на регистрирующем денситометре от величины оптической плотности.

1 — максимальные ошибки; 2 — средние ошибки.

Следовательно, примененная для измерения интегральной плотности оптическая система с апертурным углом около 60° дает достаточно удовлетворительные результаты.

На рис. 7 показаны максимальные и средние ошибки, полученные на приборе для разных плотностей в процессе указанных испытаний.

График характеризует воспроизводимость работы прибора. Заштрихованной зоной показана область допустимых средних ошибок при фотометрических измерениях. Как видно из графика, средние ошибки, получаемые на испытуемом приборе, лежат в пределах этой области.

Испытания показали также и наличие существенных недостатков прибора, главным образом конструктивного характера. К таким недостаткам относится затрудненный доступ к элементам кинематической и оптической систем прибора, вследствие чего их контроль и регулировка сложны, а возникновение вибраций при включении любого двигателя, в особенности обтюраторного, приводит к появлению помех в сигнале. Неудачна также конструкция канала для сенситограммы: зарядка сенситограммы и ее установка на начальную точку, от которой ведется отсчет, весьма неудобны.

Вместе с тем работа опытного образца оказалась вполне устойчивой и дает основание сделать вывод о возможности создания подобной надежно действующей в производственных условиях аппаратуры для кинопромышленности.

Эксплуатационные испытания прибора производились в лаборатории фотовоспроизведения НИКФИ.

Л. К. КРУПЕНИН, Г. С. БАРАНОВ

МЕТОДЫ ГРАДУИРОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ ДЕНСИТОМЕТРОВ

Разработанный НИКФИ метод общесенситометрического испытания цветных многослойных материалов применяется для определения величин, характеризующих воспроизведение серой шкалы [1, 2].

В установившемся цветофотографическом процессе с определенной спектральной чувствительностью эмульсионных слоев материала и определенным спектральным поглощением образующихся в его слоях красителей указанный метод сенситометрических испытаний является достаточным для определения фотографических свойств многослойного материала в процессе его практического применения.

Величины фотографического эффекта на цветных сенситограммах измеряются обычно в денситометрических единицах серой шкалы [3]. По этой системе правильное цветовоспроизведение на многослойном материале серой шкалы соответствует трем совпадающим характеристическим кривым. В качестве единиц для выражения фотографического эффекта для негативных и контративных многослойных материалов принимаются величины копировальной плотности, а для позитивных и обрабатываемых для съемки материалов — величины визуальной эквивалентно-серой плотности [1—4]. Эти величины определяются для каждого типа цветофотографического материала, учитывая его особенности: спектральное поглощение красителей в цветном изображении, спектральную чувствительность отдельных слоев, а также спектральный состав света при практическом применении и денситометрических измерениях.

Использование этих величин позволяет сохранить обычный фотографический смысл градации негативного и позитивного изображений, применить для цветных многослойных материалов теорию фотографического воспроизведения тонов и наглядно и удобно характеризовать качество материала и соотношение (баланс) его фотографических свойств.

Система денситометрических единиц по серой шкале для измерения плотности цветных многослойных кинофотоматериалов применяется и зарубежными предприятиями кинофотопромышленности: Кодак, Анско, Агфа, Геверт и др. [5].

В данной работе был принят спектрофотометрический метод [6] измерения фотографического эффекта ввиду его большей точности и универсальности по сравнению с субтрактивно-колориметрическим методом.

Спектрофотометрическое измерение многослойных спектров (J) благодаря физической неотделимости слоев и несовершенству красителей, имеющих поглощение по всему видимому спектру, дает в результате величины общей (суммарной) плотности всех трех слоев. Пользуясь системами известных линейных уравнений, можно по измеренным величинам общей плотности вычислить частичные плотности отдельных слоев многослойного материала.

Для денситометрических измерений могут применяться фотоэлектрические спектрофотометры или денситометры, снабженные светофильтрами с узкими спектральными зонами пропускания.

Ширина спектральных зон пропускания и свойства приемника излучения должны обеспечивать при измерениях сенситограмм, содержащих один краситель, соблюдение следующих двух спектральных условий, свидетельствующих о подчинении красителей закону Бугера-Бера в данных условиях измерения:

а) сохранение постоянства отношений плотностей побочного и главного (в области максимума) спектрального поглощений во всем измеряемом интервале плотностей;

б) соблюдение аддитивности измеряемых плотностей: сумма плотностей отдельно измеряемых слоев (ΣD) должна быть равна общей плотности этих слоев (D^{Σ}) при их совместном измерении.

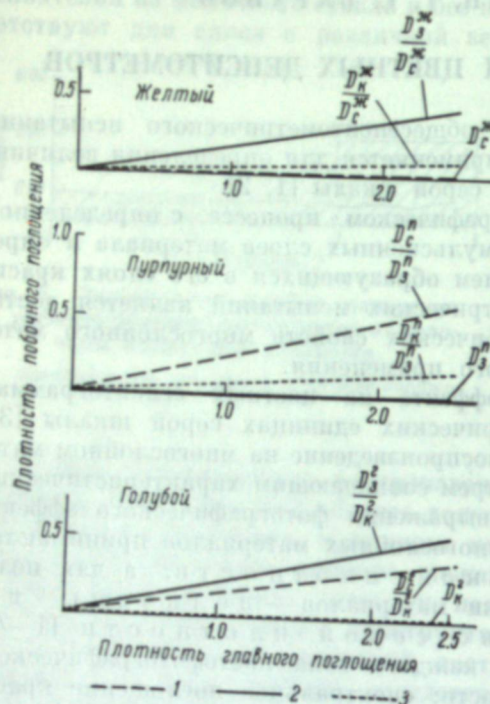


Рис. 1. Постоянство отношений плотностей в области побочного поглощения к плотностям в области главного поглощения красителей цветных пленок при измерении на приборе ЦД-4.

Зоны измерения: 1 — синяя; 2 — зеленая; 3 — красная.

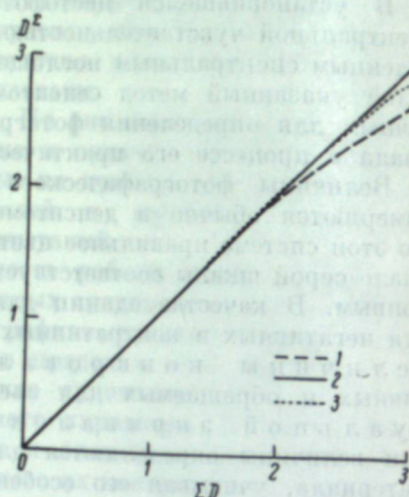


Рис. 2. Аддитивность измеряемых плотностей (денситометр ЦД-4).

Зоны измерения: 1 — синяя; 2 — зеленая; 3 — красная.

На рис. 1 и 2 показано, как выполняются оба эти условия для денситометра ЦД-4 [4].

Светорассеяние в цветофотографических слоях, определявшееся нами по соотношению $Q' = \frac{D_{\parallel}}{D_{\perp}}$ для визуально-серых многослойных полей различных материалов [4] и показанное на рис. 3, вызывает необходимость регламентации геометрических условий измерения. Мы остановились на измерении плотности цветных сенситограмм в величинах интегральной плотности, так как такие измерения наиболее воспроизводимы и устойчивы в оптико-геометрическом отношении [7—9].

Градуирование денситометров производится путем измерения полей сенситограмм, плотности которых заранее определены. Для образцовых приборов, определение плотностей на применяемых при этом сенситограммах производится экспериментально. Для остальных денситометров применяются сенситограммы, измеренные на образцовом приборе. В особых случаях выясняется зависимость между показаниями гальванометра и величинами измеренной плотности. Очевидно, что экспериментальное

определение плотности зависит в первую очередь от выбора величин, принятых для оценки фотографического эффекта на сенситограммах. Поэтому описание способа градуирования для каждого вида плотности мы будем начинать с определения измеряемых величин.

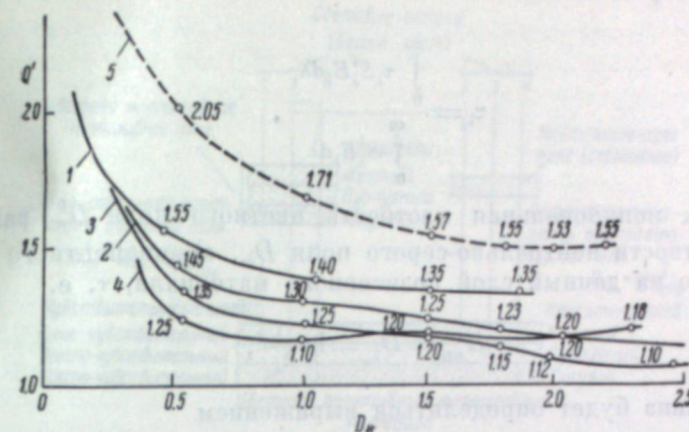


Рис. 3. Зависимость коэффициента светорассеяния от величины диффузной плотности.

1 — цветной негатив; 2 — цветной позитив с остаточным серебром; 3 — цветной позитив без серебра; 4 — цветной дубль-негатив; 5 — черно-белый позитив.

Копировальная плотность, ее измерение и градуирование денситометров [1, 3, 4, 10]

Копировальная плотность ($D_{\text{кп}}$) является денситометрической мерой поглощения света однородным участком цветного негативного или контратипного изображения на многослойном материале, представляющая собой оптическую плотность цветного поля, освещенного определенным (нормированным) источником света, при восприятии вышедшего пучка одним из элементарных слоев позитивного или контратипного материала заданного типа. Эту величину выражают в значениях оптической плотности нейтрально-серого поля, дающего при печати на одном из слоев позитивного или контратипного материалов такой же эффект, как и измеряемое цветное поле. Копировальная плотность является частным случаем эффективной плотности, оценивающей общее суммарное фотографическое действие всех трех слоев цветного негатива или контратипа на каждый слой позитивного материала.

Шкала копировальных плотностей негативного или контратипного изображения представляет собой шкалу логарифмов относительных экспозиций на позитиве.

Копировальная плотность определяется выражением, выводимым из равенства фотоактивных потоков для цветного и серого полей, дающих в позитивном слое равный фотографический эффект.

Если цветное негативное поле характеризуется измеряемым спектральным коэффициентом пропускания τ_{λ} , а эквивалентное ему по действию на i -тый слой позитивного цветного материала серое (серебряное) поле обладает постоянным коэффициентом пропускания $\tau_{\lambda_0} = \text{const}$, то равенство фотоактивных потоков (эффективные величины излучения), прошедших через оба поля, будет определяться выражением

$$\int_0^{\infty} \tau_{\lambda} S_{\lambda}^i E_{\lambda} d\lambda = \tau_{\lambda_0} \int_0^{\infty} S_{\lambda}^i E_{\lambda} d\lambda,$$

где E_λ — спектральное распределение энергии источника света при печати; S_λ^i — спектральное распределение чувствительности i -того слоя позитивного цветного материала, на который производится печать цветного и серого полей.

Тогда

$$\tau_{\lambda_0} = \frac{\int_0^\infty \tau_\lambda S_\lambda^i E_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty S_\lambda^i E_\lambda d\lambda}.$$

Так как копировальная плотность цветного поля $D_{\text{кп}}^i$ равна оптической плотности нейтрально-серого поля D_{λ_0} , эквивалентного цветному по действию на данный слой позитивного материала, т. е.

$$D_{\text{кп}}^i = D_{\lambda_0} = \lg \frac{1}{\tau_{\lambda_0}},$$

то ее величина будет определяться выражением

$$D_{\text{кп}}^i = \lg \frac{\int_0^\infty S_\lambda^i E_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty \tau_\lambda S_\lambda^i E_\lambda d\lambda}.$$

Копировальная плотность может быть определена по системе линейных уравнений [11], исходя из непосредственно измеренных на денситометре величин оптической плотности D_c , D_z , D_k цветного негативного поля в трех длинах волн или в спектральных зонах (синей, зеленой и красной):

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{кп}}^c &= a_1 D_c + a_2 D_z + a_3 D_k \\ D_{\text{кп}}^z &= a_4 D_c + a_5 D_z + a_6 D_k \\ D_{\text{кп}}^k &= a_7 D_c + a_8 D_z + a_9 D_k \end{aligned} \right\},$$

где $D_{\text{кп}}^c$, $D_{\text{кп}}^z$, $D_{\text{кп}}^k$ — копировальные плотности в отношении синечувствительного, зеленочувствительного и красночувствительного слоев позитивного материала. Коэффициенты a^i определяются экспериментально по соотношению между величинами копировальных плотностей цветных полей на типовых негативных пленках и измеренными на денситометре плотностями отдельных слоев этих пленок.¹

Экспериментальное определение величин копировальной плотности на сенситограммах, служащих для градуировки денситометров, производится путем параллельной печати цветных негативных и серых серебряных полей на цветную позитивную пленку с отысканием полей, дающих одинаковый фотографический эффект в каждом из слоев позитивного материала (рис. 4). Для этого существуют два метода.

По первому методу, пригодному для полей любой цветности, проводят параллельную печать с цветных и серебряных полей и в полученных отпечатках на позитивной пленке с помощью уравнений для расчета величин плотности отдельных слоев определяют фотографический эффект в каждом слое позитивного материала как для серых,

¹ Величины $a^i D_j$ соответствуют величинам $\delta_j^i c^i$ в уравнениях для определения эффективных плотностей по Ньюбергу [12], т. е. $a^i D_j = \delta_j^i c^i$.

так и для цветных полей. Затем строят для каждого слоя кривые зависимости величины эффекта от величины диффузной плотности серых серебряных полей, под которыми этот эффект получен. На кривых для каждого

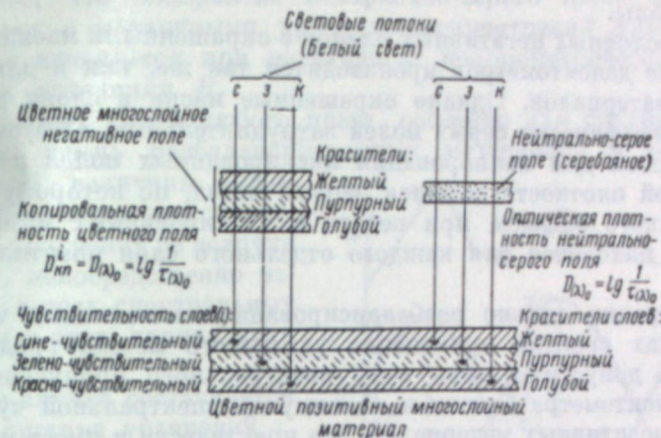


Рис. 4. Схема определения копировальной плотности цветного поля многослойного негатива по равенству фотографического эффекта в каждом слое цветного позитива при печати цветного и серого полей.

негативного поля находят по произведенному этим полем фотографическому эффекту три величины диффузной плотности серебряных полей, которые эквивалентны цветному по фотографическому действию на отдельные слои позитивного материала. Это и будут три величины копировальной плотности цветного поля (рис. 5).

По второму методу для печати выбирают цветные негативные поля с таким соотношением красителей, что эти поля по фотографическому действию на трехслойный позитивный материал в целом оказываются эквивалентными серым серебряным полям, так как дают одинаковые по цвету и плотности отпечатки; при печати на нормированный позитивный материал отпечатки получаются визуально-серыми. Цветные негативные поля, дающие такой эффект, называются фотографически серыми полями.

В этом случае цветное поле получает три равных значения копировальной плотности в отношении каждого из слоев позитивного материала; они численно равны диффузной плотности серебряного поля, эквивалентного по фотографическому действию на многослойный позитивный материал.

Сенситограммы, на которых копировальные плотности найдены одним из указанных выше способов, измеряют на образцовом денситометре

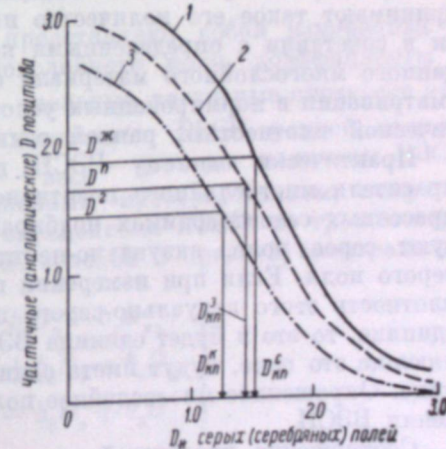


Рис. 5. Определение копировальных плотностей цветного поля по равенству фотографического эффекта в каждом слое позитива.

Красители: 1 — желтый; 2 — пурпурный; 3 — голубой. $D_{\text{кп}}^c$, $D_{\text{кп}}^z$, $D_{\text{кп}}^k$ — плотности отпечатка, полученного с цветного поля; $D_{\text{кп}}^c$, $D_{\text{кп}}^z$, $D_{\text{кп}}^k$ — копировальные плотности цветного поля.

в трех спектральных зонах; по результатам измерений строят градуировочные кривые, нанося по оси абсцисс показания прибора, а по оси ординат — копировальные плотности; по кривым составляют переводные таблицы или шкалы.

Для многослойных негативных пленок с окрашенными масками в слоях градуирование денситометров производится так же, как и для обычных негативных материалов. Однако окрашенные маски в слоях делают получение фотографически серых полей затруднительным. Поэтому практически пригодным для калибрования маскированных полей в величинах копировальной плотности остается первый метод, по которому равенство фотографического эффекта при печати с маскированных и нейтрально-серых полей находится для каждого отдельного слоя позитивного материала.

При измерении сильно разбалансированных негативных материалов в узких зонах спектра применение указанного метода градуирования денситометра допустимо, если зоны спектрального пропускания светофильтров денситометра близки к максимумам спектральной чувствительности слоев позитивных материалов, что практически и имеет место в действительности.

Визуальная эквивалентно-серая плотность, ее измерение и градуирование денситометров [1, 3, 4, 10, 13]

Визуальная эквивалентно-серая плотность ($D_{вэсп}$) является денситометрической мерой поверхностной концентрации каждого красителя, образующего позитивное цветное изображение. За единицу поверхностной концентрации каждого данного красителя принимают такое его количество на единице поверхности, при котором он в сочетании с определенными количествами двух других красителей данного многослойного материала образует поле, неотличимое при рассматривании в нормированных условиях от нейтрально-серого поля с оптической плотностью, равной единице.¹

Практически единицу ВЭСП получают следующим образом. Три красителя многослойного позитивного материала на однослойных одно-красочных сенситограммах подбирают в таком сочетании, что они образуют серое поле, визуально-неотличимое от серебряного нейтрально-серого поля. Если при измерении на денситометре Мартенса оптическая плотность этого визуально-серого поля из трех красителей будет равна единице, то это и будет единица ВЭСП. Тогда все три красителя, составляющие это поле, будут иметь одинаковые величины ВЭСП, равные единице. Окрашенное многослойное поле будет иметь три неодинаковых значения ВЭСП.

Соотношение красителей на визуально-сером поле принимается постоянным и равным их соотношению в единице ВЭСП для всех концентраций красителей, что важно для расчета ВЭСП по линейным уравнениям. Некоторое отклонение от нейтральности для полей с высокими концен-

¹ В системе денситометрии по серой шкале, аналогично ВЭСП для позитивного цветного изображения, существует единица плотности ФЭСП — фотографической эквивалентно-серая плотность, являющаяся мерой поверхностной концентрации каждого красителя, образующего цветное негативное или контрастное изображение. При измерении величин ФЭСП за единицу поверхностной концентрации каждого данного красителя принимают такое его количество на единицу поверхности, при котором он в сочетании с определенными количествами двух других красителей данного многослойного материала образует поле, неотличимое при печати в определенных условиях на определенный позитивный материал от нейтрально-серого поля с оптической плотностью, равной единице.

трациями и с тем же соотношением красителей, установленным для визуально-серых полей [4, 11], практически невелико, и им можно пренебречь.

Указанное обстоятельство подтверждают данные И. М. Федорова, показавшего, что восприятие нейтрально-серого цвета на визуально-серых полях с различными уровнями концентраций красителей практически не изменяется при переходе от колориметрического источника света А к источнику В.

Для цветных полей любого цвета, особенно для сильно окрашенных полей, для очень разбалансированных материалов и однокрасочных изображений, величины ВЭСП должны определяться по системе линейных уравнений из величин плотностей, непосредственно измеренных в трех спектральных зонах или в трех длинах волн (рис. 6).

В этом случае составляется исходная система уравнений

$$\begin{aligned} D_c &= d_c^к D_{вэсп}^к + d_c^п D_{вэсп}^п + d_c^г D_{вэсп}^г \\ D_a &= d_a^к D_{вэсп}^к + d_a^п D_{вэсп}^п + d_a^г D_{вэсп}^г \\ D_k &= d_k^к D_{вэсп}^к + d_k^п D_{вэсп}^п + d_k^г D_{вэсп}^г \end{aligned}$$

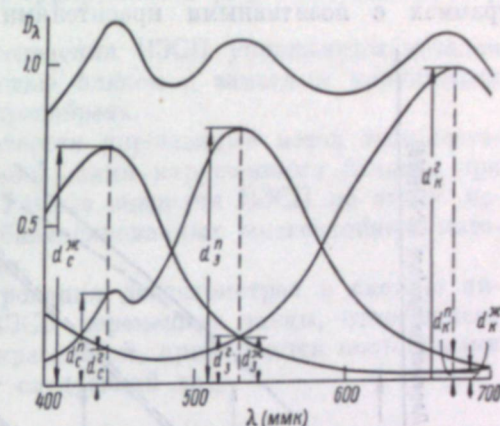


Рис. 6. Спектральные характеристики единицы ВЭСП.

в которой величины D_c , D_a , D_k представляют собой измеренные на денситометре общие плотности трехслойного поля, коэффициенты $d_c^к$, $d_c^п$, $d_c^г$; $d_a^к$, $d_a^п$, $d_a^г$; $d_k^к$, $d_k^п$, $d_k^г$ — удельные частичные плотности красителей визуально-серого поля, с плотностью ВЭСП, равной единице (рис. 6), а плотности $D_{вэсп}^к$, $D_{вэсп}^п$, $D_{вэсп}^г$ — искомые величины ВЭСП.

Решая исходное уравнение линейным преобразованием, получаем систему расчетных уравнений для определения ВЭСП по трем измерениям на денситометре в трех (синей, зеленой и красной) спектральных зонах:

$$\begin{cases} D_{вэсп}^к = b_1 D_c - b_2 D_a - b_3 D_k \\ D_{вэсп}^п = -b_4 D_c + b_5 D_a - b_6 D_k \\ D_{вэсп}^г = -b_7 D_c - b_8 D_a + b_9 D_k \end{cases}$$

Коэффициенты b_i зависят от величин коэффициентов $d_i^к$. Однокрасочные поля, составляющие визуально-серое поле, для определения коэффициентов исходного уравнения $d_i^к$ не должны содержать серебра.

Метод определения приближенных значений ВЭСП

При отсутствии счетно-решающих устройств решение системы уравнений для определения ВЭСП в производственных условиях измерения сенситограмм отнимает настолько много времени, что практически неприемлемо.

В связи с этим нами был разработан упрощенный метод определения величин ВЭСП с непосредственным градуированием денситометров в величинах ВЭСП по измерениям визуально-серых полей.

Метод исходит из того принципа, что визуально-серое поле многослойного материала должно характеризоваться равными величинами плотности при измерении в трех спектральных зонах, выбранных в области максимумов поглощения красителей. Принцип этот согласуется также с трехзональной системой координат Н. С. Овечкиса, по которой нейтральность визуально-серых полей на многослойных пленках характеризуется равными значениями зональной плотности, а величины ВЭСП равны величинам зональной плотности этих полей.

Для градуирования денситометра по указанному методу на сенситограммах с позитивными красителями отыскиваются визуально-серые

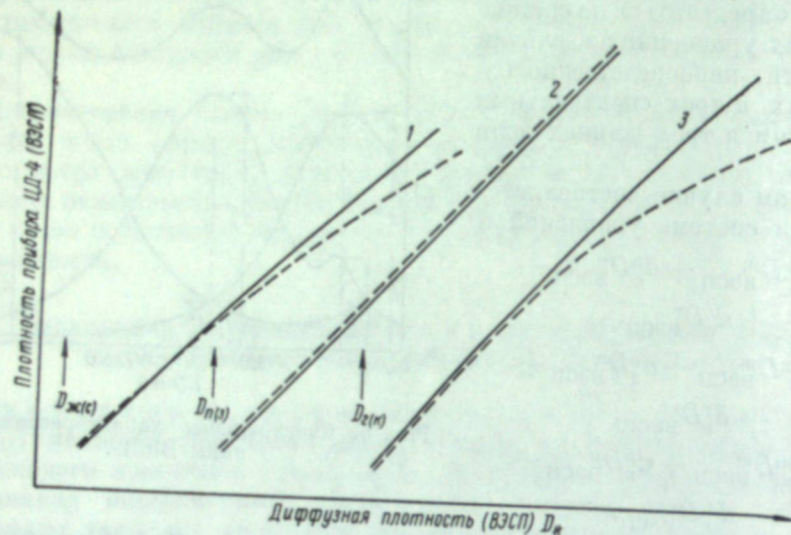


Рис. 7. Градуировочные кривые пересчета показаний прибора ЦД-4 в величины ВЭСП.

Сплошная линия — с остаточным серебром; пунктирная — без остаточного серебра; 1 — измерение за синим светофильтром; 2 — измерение за зеленым светофильтром; 3 — измерение за красным светофильтром.

поля, неотличимые при рассматривании от серебряных нейтрально-серых полей. Определение величин ВЭСП для визуально-серых полей производится измерением их диффузной оптической плотности на денситометре Мартенса.

Градуирование денситометра по калиброванным в ВЭСП визуально-серым полям позитивных сенситограмм производится измерением их в трех спектральных зонах, построением градуировочных кривых для измерений в каждой зоне спектра, где по оси абсцисс отложены показания прибора, а по оси ординат — величины ВЭСП; по кривым составляют переводные таблицы или шкалы.

Необходимо указать на принципиальное сходство в методах выбора визуально-серых полей и в оценке их в величинах ВЭСП, применяемых нами и фирмой «Кодак» [14].

На результаты градуирования оказывает влияние остаточное серебро в позитивном изображении. На рис. 7 показаны градуировочные кривые, полученные по измерениям визуально-серых сенситограмм с остаточным серебром и без него. Для зеленой спектральной зоны градуировочные кривые совпадают. Для синей и красной спектральных зон кривые расходятся в области больших плотностей, что связано, вероятно, с поглощением остаточным серебром ближних инфракрасных и крайних красных лучей, пропускаемых теплозащитным фильтром денситометра и синим и красным светофильтрами.

Поэтому сенситограммы для градуирования денситометров в величинах ВЭСП не должны содержать серебра.

Нахождение величины ошибок в определении ВЭСП на сенситограммах позитивных пленок с заметными цветовыми оттенками для измерений на приборе ЦД-4 методом приближенного определения ВЭСП проводилось сравнением величин ВЭСП, определенных упрощенным методом, с величинами ВЭСП, определенными спектрофотометрически по линейным уравнениям. Средняя ошибка в определении ВЭСП для наиболее окрашенных полей составляет для желтого, пурпурного и голубого слоев соответственно 8, 6 и 5%.

Таким образом, ошибка в определении ВЭСП упрощенным методом для изготавливаемых промышленностью пленок с заметным нарушением баланса невелика, и ею можно пренебречь.

При массовых измерениях плотности упрощенный метод дает достаточную точность для пленок с небольшими нарушениями баланса при достаточной скорости измерений. Точные значения ВЭСП по этому методу получаются для идеально сбалансированных многослойных материалов с позитивным изображением.

При указанном методе градуирования денситометров в системе линейных уравнений для расчета ВЭСП переменные члены, относящиеся к области побочного поглощения красителей, принимаются постоянными (k_1, k_2, k_3) и система приобретает следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} D_{\text{ВЭСП}}^{\text{ж}} &= b_1 D_c + k_1, \\ D_{\text{ВЭСП}}^{\text{п}} &= b_2 D_a + k_2, \\ D_{\text{ВЭСП}}^{\text{к}} &= b_3 D_k + k_3. \end{aligned} \right\}$$

Применение указанного метода определения ВЭСП дает точные результаты при измерении визуально-серых полей, приближенные результаты — при измерении полей, близких к серому, не имеющих слишком выраженной окраски. Точность определения ВЭСП для таких полей с усилением окраски понижается. При измерении сильно окрашенных полей или полей однослойного материала, содержащих какой-нибудь один из трех красителей, указанный метод измерения будет давать не ВЭСП, а зональные плотности, которые характеризуют цвет измеряемого поля.

Рассмотренные здесь методы градуирования цветных денситометров и измерения фотографического эффекта на многослойных цветных сенситограммах являются частью метода сенситометрического испытания НИКФИ для цветных многослойных фотографических материалов на прозрачной подложке. Как и сам метод в целом, методы градуирования денситометров и измерения сенситограмм уже длительное время (с 1950 г.) практически применяются при сенситометрических испытаниях качества готовой продукции и при производственном сенситометрическом контроле на предприятиях кинопромышленности, выпускающих и обрабатывающих многослойные цветные кинофотоматериалы. Они включены в ГОСТ 9160-59 на метод общесенситометрического испытания многослойных цветных материалов.

В работе принимали участие сотрудники НИКФИ: Е. И. Ключенкова, Л. Н. Алешина и Л. В. Тагачина, сотрудники Московской фабрики мас-совой печати цветных фильмов: В. Ф. Богатенкова, М. А. Никонова и А. А. Карпова.

- [1] Г. С. Баранов, Сб. «Цветная кинематография», Изд. «Искусство», М., 1955.
- [2] Г. С. Баранов, Н. С. Овечкис, Э. Д. Каценеленбоген, Л. К. Крупенин, Труды НИКФИ, вып. 10 (20), 1957. G. S. Baranow, N. S. Owetschkis, E. D. Katzenelenbogen, L. K. Krupenin, Wissenschaftliche Photographie Internationale Konferenz, Köln, Darmstadt, 1956.
- [3] Г. С. Баранов, В. Г. Пелль, А. А. Сахаров. Справочник по технике киносъемки; Нормаль Р. М. кино 102—59. «Терминология сенситометрии цветных кинофотоматериалов и процессов», М. 1959; также: Техника кино и телевидения, 3, № 4, 1958.
- [4] Л. К. Крупенин. Разработка метода денситометрии цветных трехслойных пленок. Канд. дисс., НИКФИ, М., 1954.
- [5] R. Bingham, JSMPT, 46, 368—378, 1946; F. Williams, J. Opt. Soc. Amer., 40, 104—112, 1950; F. Williams, JSMPT, 56, 1—12, 1951; A. Thiels, JSMPT, 56, 13, 1951; W. Behrendt, Veröff. Wiss. Lab. AGFA, 1951, 7, 8—31, 32—36; E. Hellmig, Veröff. Wiss. Lab. AGFA, 7, 126—127, 1951; W. White, C. Morrison, Photogr. Sci. Eng., 2, 164—169, 1958.
- [6] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. И. Левенберг, Усп. научн. фотографии, II, 85—104, 1954. В. М. Чулановский. Введение в молекулярный спектральный анализ. Гостехтеоретиздат, М.—Л., 1951.
- [7] E. Evans, W. Hanson jr., W. Brewer. Principles of color Photography, N.Y.—London, 1953.
- [8] ГОСТ 2653—44. Основные понятия и величины фотографической сенситометрии.
- [9] В. А. Коридорф, Усп. научн. фотографии, IV, 67—81, 1955.
- [10] Principles of color sensitometry, JSMPT, 54, 655—724, 1950.
- [11] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Усп. научн. фотографии, V, 127—144, 1957.
- [12] Н. Д. Нюберг, Усп. научн. фотографии, II, 134, 1954.
- [13] W. Brewer, F. Williams, J. Opt. Soc. Amer., 44, 460, 1954. R. Morris, J. Morrissey, J. Opt. Soc. Amer., 44, 530—534, 1954. Holland, Michelson, Powers, J. Opt. Soc. Amer., 44, 534, 1954.
- [14] A. Sant, O. Miller, J. Opt. Soc. Amer., 48, 4—8, 1958; ASA PH 2.1—1952, Spectral diffuse densities of threecomponent subtractive color films.

А. Н. УСПЕНСКИЙ

УПРОЩЕННЫЙ СЕНСИТОМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ В ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

В настоящее время цветофотографический процесс имеет достаточно широкое распространение при аэросъемке. При этом возникает необходимость проведения сенситометрического контроля применяемых цветных материалов и процессов. Разработанные в НИКФИ и ГОИ цветные денситометры не приспособлены для проведения измерений на аэрофильмах, ширина которых равна 190 мм, а длина может достигать до 60 м. Кроме того, эти приборы, приспособленные для стационарных лабораторий, не могут быть широко использованы в полевых экспедиционных условиях.

В силу изложенных обстоятельств в аэрофотографической лаборатории ЦНИИГАиК был разработан комплект сенситометрической аппаратуры, состоящий из прибора для впечатывания на аэропленку перед проявлением изображения оптического клина и двух видов фотоэлектрических регистрирующих денситометров для полуавтоматического нанесения трех характеристических кривых. Там же разработан копировальный прибор для печати цветных аэроснимков с денситометрической приставкой.

1. Прибор для впечатывания в аэропленку изображения оптического клина

Прибор построен по оптической схеме, показанной на рис. 1. Свет от осветительного блока 1 проходит через светофильтр дневного света 2, желтый светофильтр 3 из стекла ЖС-18, вынимаемый из прибора при исследовании цветных материалов, матовое стекло 4 и равномерным пучком освещает ступенчатый клин 5 с константой 0.15. К поверхности клина с помощью крышки 6 прижимается аэропленка 7.

В корпусе-коробке прибора помещен осветительный блок, состоящий из 11 миниатюрных электроламп типа МН-14 (6 в, 0.28 а). В пазы, располагающиеся в верхней части коробки, вдвигается светофильтр дневного света, представляющий собой две стеклянные пластинки, покрытые окрашенным желатином. Над светофильтром дневного света расположен светофильтр из стекла ЖС-18 толщиной 5 мм и матовое стекло.

В верхней части коробки укреплен рамка со ступенчатым оптическим клином с константой 0.15, применяемым в сенситометре ФСР-4. Коробка закрывается светонепроницаемой крышкой, легко снимаемой в случае необходимости удалить из прибора желтый светофильтр.

При впечатывании оптического клина конец аэропленки вдвигается в щель между оптическим клином и прижимной крышкой до упора в скобу. Винтовая пружина поддерживает прижимную крышку всегда в приподнятом положении. Во время экспонирования эмульсионная поверхность

аэропленки прижимается с помощью крышки к поверхности клина. Затем, нажав на кнопку микропереключателя, производят экспонирование.

Нижняя поверхность прижимной крышки и верхняя поверхность рамки, в которой укреплен клин, оклеены черным бархатом.

Электролампы осветительного блока соединены параллельно и питаются с накалом через трансформатор, понижающий напряжение с 120 до 3 в. Питание ламп с накалом дает такую освещенность на оптическом клине, которая позволяет при выдержках от 1 до 10 сек. получать на сенситограммах 15—17 полей.

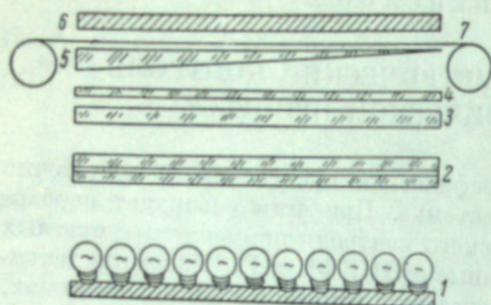


Рис. 1. Оптическая схема прибора для вetchивания изображения оптического клина в аэропленку.

Объяснение см. в тексте.

Тело накала лампы СЦ-70 1 изображается с помощью линзы 4 в плоскости измерительной диафрагмы 7 с трехкратным уменьшением. Пучок света проходит через теплозащитный поверхностного нанесения 3, проходит через линзу 4, присовую диафрагму 5, один из строгих зональных светочувствительных дисков 6, диафрагму 7 и измеряемый участок аэропленки 8 и попадает на светочувствительную поверхность измерительного фотоэлемента 10. Токи, возникающие в цепи фотоэлемента 10, отклоняют стрелку гальванометра 18.

С другой стороны, тело накала той же лампы изображается в плоскости диафрагмы 16 также с трехкратным уменьшением. Пучок света проходит через теплозащитный фильтр 11, линзу 12, один из трех зональных светочувствительных дисков 13, поле оптического клина-сектора с изменяющейся константой 15, диафрагму 16 и попадает на светочувствительную поверхность фотоэлемента сравнения 17. Токи, возникающие в цепи фотоэлемента сравнения, отклоняют стрелку того же гальванометра 18.

Селеновые фотоэлементы подбираются с близкими характеристиками и включены по дифференциальной схеме (навстречу друг другу). Для

Питание электроламп прибора осуществляется через стабилизатор напряжения, что обеспечивает постоянство светового потока. Проведенные исследования прибора показали, что равномерность освещенности в плоскости оптического клина находится в пределах 5%.

2. Фотоэлектрический регистрирующий денситометр для аэрофильмов ДФЭП-1

Полевой фотоэлектрический регистрирующий денситометр устроен по следующей оптической схеме (рис. 2, а).

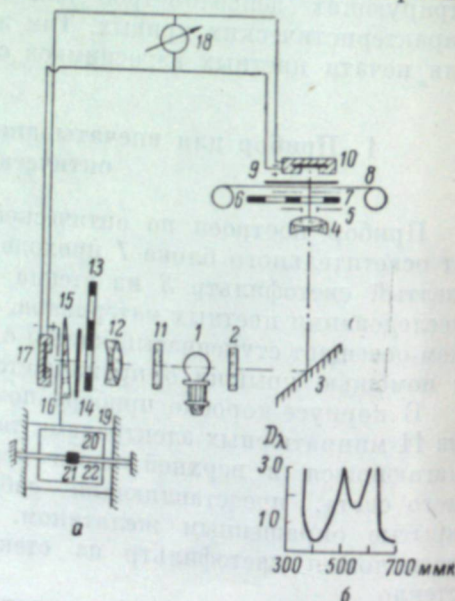


Рис. 2. Оптическая схема полевого регистрирующего денситометра для аэрофильмов ДФЭП-1.

Объяснение см. в тексте.

преграждения доступа света к фотоэлементам в то время, когда измерения не производятся, служат затворы-защелки 9 и 14.

Перемещение оптического клина-сектора связано с перемещением каретки 19. Регистрация точек характеристической кривой на бланке 20 производится путем наколов с помощью компостера 21, перемещаемого по направляющей 22.

В измерительный световой пучок вводится участок аэрофильма, а в пучок сравнения — оптический клин. Плотности участков аэрофильма определяются путем уравнивания световых потоков с помощью перемещаемого оптического клина. В приборе применен оптический клин специального устройства. Путем поворота в своей плоскости константа его изменяется, что позволяет легко производить градуировку прибора. При определении плотностей цветных полей в измерительный и сравнительный пучки вводят зональные светочувствительные, обеспечивающие следующие пределы аддитивности измеряемых копировальных плотностей: для синего светочувствительного до 2.0, для зеленого светочувствительного до 2.3 и для красного светочувствительного до 3.0.

В качестве зональных светочувствительных денситометра использовались следующие комбинации пластинок цветного стекла: синий светочувствительный: ФС-6 (2 мм) + СЗС-18 (6 мм); зеленый светочувствительный: ОС-17 (5 мм) + СЗС-18 (6 мм) и красный светочувствительный: КС-14 (8 мм).

Кривые спектрального поглощения этих светочувствительных приводятся на рис. 2, б.

С помощью перематывающего приспособления аэрофильм может перемещаться в двух направлениях, и любой участок его может быть установлен над измерительной диафрагмой. С целью выбора участка на аэрофильме последний подсвечивается снизу. В момент прижатия фила к диафрагме хоботком прибора, в котором расположен измерительный фотоэлемент, подсветка автоматически выключается.

Запись характеристических кривых производится на сенситометрическом бланке, помещаемом на подвижной каретке, жестко скрепленной с оптическим клином. После установки компостера на линию бланка, с соответствующую измеряемому полю сенситограммы, каретка с оптическим клином перемещается с помощью штурвала до тех пор, пока тенева стрелка гальванометра типа М 91/А не придет на нулевое деление. После этого производится накол точки характеристической кривой с помощью рычага, надавливающего на компостер.

Отсчет значений плотностей производится по шкале, укрепленной снизу каретки. Штурвалы для перемещения аэрофильма и каретки, рычаги установки светочувствительных в световой поток, а также винт управления раскрытием присовой диафрагмы, предназначенной для уравнивания световых потоков перед началом измерений, находятся со стороны прибора, обращенной к наблюдателю.

Прибор проградуирован в диффузных плотностях по показаниям денситометра ДФЭ-10 и в копировальных плотностях по показаниям эталонного цветного денситометра ЦД-4.

В результате градуировки были получены четыре отсчета для оптического клина, при которых наблюдалось совпадение характеристических кривых черно-белых и цветных материалов, полученных с помощью денситометров ДФЭ-10, ЦД-4 и ДФЭП-1. По разностям двойных измерений были вычислены средние квадратичные ошибки определения сенситометрических характеристик. Ошибки определения копировальных плотностей в пределах 0—2.0 составили 0.01, а ошибки определения максимальных плотностей цветных негативных материалов — 0.02.

Определение относительных светочувствительностей и коэффициентов контрастности производилось с точностью до 2—3%.

3. Регистрирующий денситометр для черно-белых и цветных фотографических бумаг РДЦБ-1

В разработанном нами регистрирующем денситометре для нанесения характеристических кривых черно-белых и цветных фотографических бумаг использована та же схема (рис. 3, а) дифференциального включения фотоэлементов и оптический клин с переменной константой.

Тело накала электролампы 1 изображается в плоскости диафрагмы 5 с помощью объектива 3, оптическая ось которого составляет с плоскостью сенситограммы 6, помещаемой вплотную к диафрагме 5, угол в 45° . Освещенное поле сенситограммы 6 изображается с помощью линзы 7 в плоскости диафрагмы 8. Пучок света проходит через теплозащитный фильтр 2, один из трех зональных светофильтров, смонтированных в диске 10, и попадает на светочувствительную поверхность селенового фотоэлемента 11.

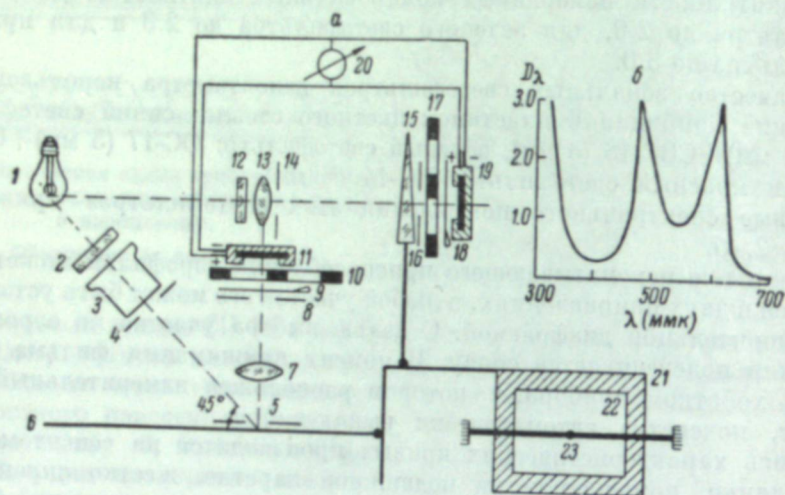


Рис. 3. Оптическая схема регистрирующего денситометра для бумаг РДЦБ-1.

Объяснение см. в тексте.

С другой стороны тело накала той же лампы 1 изображается с помощью линзы 13 в плоскости диафрагмы 16. Пучок света проходит через теплозащитный фильтр 12, поле поворачивающегося оптического клина-сектора 15, один из трех зональных светофильтров, смонтированных в диске 17, и попадает на светочувствительную поверхность второго селенового фотоэлемента 19. Фотоэлементы 11 и 19 включены навстречу друг другу. При равенстве световых потоков, попадающих на эти фотоэлементы, стрелка гальванометра 20 остается на нуле. Для записи характеристических кривых служит регистрирующее приспособление, состоящее из каретки 21, бланка 22 и компостера 23.

В приборе применен следующий комплект зональных светофильтров из цветного стекла: синий светофильтр СС-4 (5 мм), зеленый светофильтр ЗСЗ-18 (3 мм) + ОС-17 (3 мм), красный светофильтр КС-14 (6 мм).

Кривые спектрального поглощения этих светофильтров приведены на рис. 3, б.

Прибор построен по двухэтажной схеме: в нижней части располагаются оптическая и электрическая ветви прибора, в верхней части — регистрирующее приспособление. Для удобства работы перемещение на одно поле сенситограммы, заключенной в кассету, заблокировано с перемещением на одну ступень стандартного сенситометрического бланка. Так же как

и в полевом регистрирующем денситометре, фиксация точек характеристических кривых производится с помощью компостера.

Регистрирующий денситометр РДЦБ-1 отградуирован в диффузных плотностях для черно-белых фотографических бумаг и в приближенных значениях ВЭСП — для цветных. Для градуировки в приближенных значениях ВЭСП были использованы 72 полученных от НИКФИ визуально-серых поля, изготовленные на бумаге «Фотоцвет», плотности которых в белом свете были измерены с помощью визуального поляризационного денситометра. Были найдены три отсчета для оптического клина, при которых плотности ВЭСП полей, полученные с помощью денситометра ЦД-4 и с помощью нашего денситометра, совпадали. Следует отметить, что в высоких плотностях не наблюдалось хорошего совпадения характеристических кривых, что может быть объяснено существующим различием в применяемых светофильтрах в нашем денситометре и в денситометре ЦД-4, а также различной степенью рассеяния света на различных участках оптического клина.

Однако в пределах плотностей ВЭСП до 2.0 наблюдалось достаточно хорошо совпадение точек трех характеристических кривых, полученных под синими, зелеными и красными светофильтрами денситометров.

Исследование воспроизводимости сенситометрических характеристик, получаемых с помощью регистрирующего денситометра, показало, что средняя квадратичная ошибка определения оптических плотностей в пределах 0—1.5 составляла 0.02 единицы плотности, средняя квадратичная ошибка определения $D_{\max}$ составила 0.04, ошибка определения τ была равной 0.04. Сбалансированность по контрастности и чувствительности определялась с точностью 0.07.

Поскольку нами не был найден способ определения аддитивности ВЭСП при измерениях цветных бумаг, мы определили аддитивность зональных плотностей, полученных с помощью регистрирующего денситометра. Мы использовали сенситограммы, изготовленные на монослоях позитивной пленки, которые совмещались с баритованной подложкой и в различных комбинациях промерялись на отражение.

Аддитивность измеряемых зональных плотностей, определенная таким образом, соблюдалась в следующих пределах: для синего светофильтра до 1.5, для зеленого светофильтра до 1.6 и для красного светофильтра до 1.75.

4. Копировальный прибор с денситометрическим приспособлением

При печати цветных аэроснимков на разработанном в ЦНИИГАиК аддитивном копировальном приборе с целью облегчения установки света проводится измерение плотностей сюжетно важных участков аэронегативов, для чего используется денситометрическое приспособление к этому прибору, включающее в себя селеновый фотоэлемент, достаточно узкие зональные светофильтры и чувствительный микроамперметр.

Схема аддитивного копировального прибора с денситометрической приставкой показана на рис. 4, а, а кривые спектрального поглощения применяемых при измерениях и печати светофильтров — на рис. 4, б.

Пучок света от каждой из трех электроламп 1 проецируется с помощью оптической системы, состоящей из конденсора 3 и объектива 4, на плоскость рассеивания 9 в виде светового кружка. Каждый из трех пучков света проходит при этом через теплозащитный фильтр 2, поле одного из круговых оптических клиньев 5 и строгий зональный светофильтр 6, 7 и 8. Путем вращения оптических клиньев 5 интенсивность зональных потоков меняется, на рассеивателе создается различный по спектральному составу и интенсивности свет, который, пройдя к светочувствитель-

ному позитивному материалу, помещенному под цветным негативом 12, создает соответствующий цветофотографический эффект.

При установке света рассеиватель 9 отделяется от осветителя, окрашенные изображения тел накала ламп последовательно проецируются в центр диафрагмы 11 с помощью линзы 10.

Свет, прошедший через участок аэронегатива, попадает на поверхность фотоэлемента 13. Возникающие в цепи фотоэлемента токи отсчитываются по микроамперметру 14.

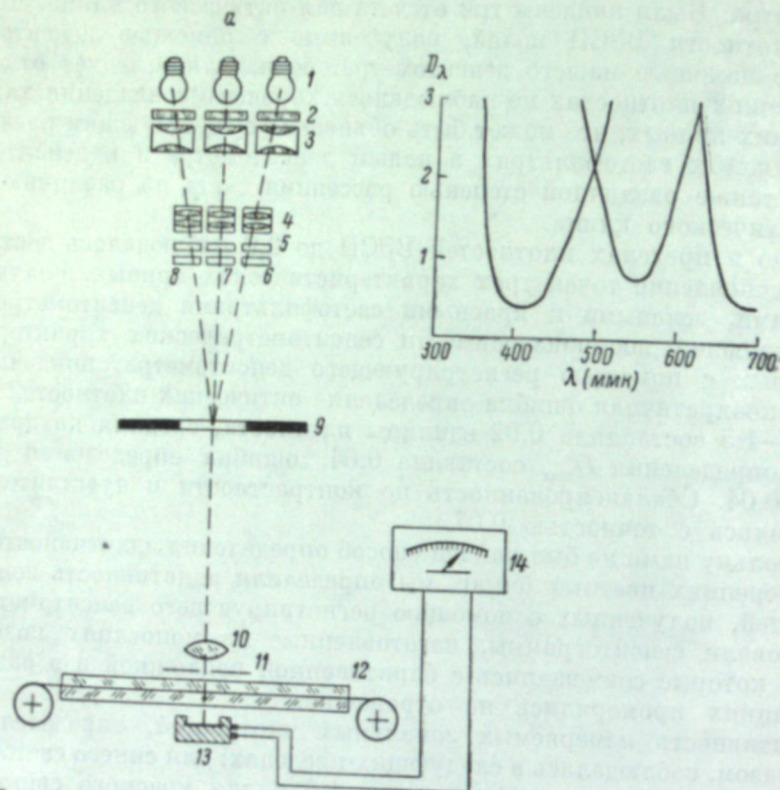


Рис. 4. Общий вид аддитивного копировального прибора с денситометрической приставкой.

Объяснение см. в тексте.

Таким образом, с помощью денситометрической приставки появляется возможность измерять плотности участков аэронегативов в синей, зеленой и красной зонах. Интенсивность зонального света, прошедшего через участок аэронегатива, может быть изменена путем вращения оптического клина.

Установка света с помощью данного приспособления производится методом уравнивания с тест-негативом. Предварительно методом пробной печати производится изготовление оптимального цветного отпечатка на применяемом сорте цветной фотографической бумаги с эталонного аэронегатива. При неизменном положении оптических клиньев, соответствующем получению оптимального отпечатка, производят измерения плотностей участка негатива-эталона с изображением растительности (например, луга). Полученные по микроамперметру три отсчета служат для установки света при изготовлении отпечатков с рабочих негативов, в изображении которых содержится участок с изображением растительности. Путем поворота оптических клиньев производится уравнивание трех отсчетов, полученных для рабочего негатива, с отсчетами для негатива-эталона.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

I. Изготовление и химико-фотографическая обработка многослойных цветных материалов

И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский. О повышении светочувствительности, разрешающей способности и качества цветовоспроизведения цветных негативных киноплёнок	3
Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, и Н. Н. Бударина. Некоторые вопросы улучшения цветовоспроизведения и резкости в цветных позитивных плёнках	13
М. И. Барро, Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс. Зависимость разрешающей способности многослойных цветных плёнок от последовательности расположения слоев	21
З. И. Грацианская, П. Т. Сидоренкова. Влияние светорассеяния в верхнем слое многослойной плёнки на разрешающую способность нижележащего слоя	29
Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турицына, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, М. В. Крашенинникова, Т. П. Бобкова, Т. Г. Ткаченко. О свойствах маскирующих цветных компонент ариазопроизводных пиразолонов (5) и анилидов 1,2-оксинафтойной кислоты	35
Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев. О влиянии цветных недиффундирующих компонент на процесс оптической сенсibilизации галлоидосеребряных эмульсий	44
Ю. Б. Виленский, Р. В. Тимофеева. Метод исследования диффузии оптических сенсibilизаторов в фотографических слоях	56
В. А. Боголюбский, Г. П. Щумеляк, Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленский. Исследование недиффундирующих восстановителей для цветных многослойных плёнок	61
Л. В. Розенталь, З. К. Авербух, Г. И. Бурдыгина, А. Ф. Муковина, В. В. Стрюкова. Черный противоореальный слой для цветных плёнок	67
Ю. Н. Гороховский. О влиянии условий цветного проявления на светочувствительность многослойных плёнок	72
А. Вжесинский, Н. И. Кириллов. Исследование процесса обработки цветных негативных плёнок путем нанесения на них обрабатывающих растворов	79
В. Я. Михайлов. Отклонения от типового цветного фотографического процесса и влияние их на качество цветного изображения	88

II. Гидротипия

С. А. Бонгард, М. И. Вилинская. О влиянии светопоглощения матричной плёнки на градицию вымывного рельефа	92
С. С. Савко. Исследование рельефного изображения на матричной плёнке	97
И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин. К вопросу о диффузии красителей в гели желатина	106
Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тиханович. К вопросу о механизме крашения желатиновых слоев (первое сообщение)	115
Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тиханович. К вопросу о механизме крашения желатиновых слоев (второе сообщение)	125

III. Теория фотографического цветовоспроизведения

Н. П. Адашев, Ю. Н. Гороховский. Статистический анализ денситометрических свойств цветных киноизображений	134
Ю. Н. Гороховский, К. Б. Попова. Зависимость воспроизведения цветов от спектрального распределения светочувствительности слоев негативных многослойных плёнок	146

Н. С. Овечкин, Л. Ф. Артюшин, М. Н. Герасимович.	
Зональная система трехцветных координат применительно к цветофотографическим процессам	155
Д. К. Балабуха. Графический анализ цветовоспроизведения	161
Н. Б. Варшавская, Т. М. Левенберг, Л. К. Локуциская. О требованиях к экспозиционному режиму при киносъемке на многослойных материалах в случае использования промежуточного контрастирования	172

IV. Методы сенситометрии и сенситометрическая аппаратура

Ю. Н. Гороховский, В. В. Левина. О рациональном критерии светочувствительности черно-белых и цветных негативных фотографических материалов	179
Э. Д. Каценеленбоген, Г. С. Баранов. Экспериментальные исследования по изысканию рациональных способов выражения общей светочувствительности черно-белых и цветных негативных материалов	195
Г. С. Баранов, Э. Д. Каценеленбоген, Е. И. Ключева, Л. К. Крупенин. Сенситометрия цветной обрабатываемой пленки	210
В. М. Бахвалов. Особенности денситометрии цветных фотографических бумаг и определение концентраций красителей в отдельных слоях	216
В. П. Копейкин. Новые и модернизированные приборы НИКФИ для цветной сенситометрии	225
А. М. Иванов. Современные сенситометры и некоторые пути их усовершенствования	235
Ю. Н. Гороховский, Г. Л. Пекарская. Универсальный денситометр дифференциального типа для черно-белых и цветных полей	248
С. А. Анисимов. Регистрирующий денситометр для черно-белых сенситограмм	256
Л. К. Крупенин, Г. С. Баранов. Методы градуирования цветных денситометров	263
А. Н. Успенский. Упрощенный сенситометрический контроль в цветофотографическом процессе	273

УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ том VIII

Утверждено к печати

Комиссией по научной фотографии и кинематографии Отделения химических наук
Академии наук СССР

Редактор издательства Э. О. Троицкая
Технический редактор М. Н. Кондратьева
Корректоры Н. Е. Фатина и Л.-З. Фрадкина

Сдано в набор 6/1 1962 г. Подписано к печати 7/V 1962 г. РИСО АН СССР № 1-24В. Формат бумаги 70 × 108^{1/16}. Бум. л. 8^{3/4}. Печ. л. 17^{1/2} = 23.97. усл. печ. л. + 1 вкл. Уч.-изд. л. 23,85 + 1 вкл. (0,05). Изд. № 1488. Тип. зак. № 506. М-37303. Тираж 1800.

Цена 1 р. 69 к.

Ленинградское отделение Издательства Академии наук СССР Ленинград, В-164,
Менделеевская лин., д.

1-й тип. Издательства Академии наук СССР, Ленинград, В-34, 9 линия. д. 12

1 р.69к.