

п-133.6

Курф

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

УСПЕХИ  
НАУЧНОЙ  
ФОТОГРАФИИ



---

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

п-1336

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р  
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ НАУК  
КОМИССИЯ ПО НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ И КИНЕМАТОГРАФИИ

# УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Том II

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ И КИНЕМАТОГРАФИИ  
ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ ЗВУКА  
ИЗ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ  
ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
Москва - 1954



Редакционная коллегия:

член-корр. АН СССР *К. В. Чибисов* (отв. редактор),  
канд. хим. наук *В. И. Шеберстов* (зам. отв. редактора),  
член-корр. АН СССР *Т. П. Краец*, проф. *Е. М. Гелдовский*,  
проф. *Ю. Н. Гороховский*, проф. *П. В. Козлов*,  
канд. техн. наук *В. Я. Михайлов*, проф. *П. Г. Тагер*,  
проф. *Г. П. Фаерман*

ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящий, второй том «Успехов научной фотографии» содержит материалы, относящиеся к научно-техническим вопросам цветной фотографии и кинематографии (первая часть сборника) и к вопросам фотографической записи звука (вторая часть сборника), а также некоторые материалы из истории отечественной фотографической науки и техники (третья часть сборника).

Статьи, относящиеся к цветофотографической проблеме, представляют переработанные доклады, прочитанные на совещании по цветной фотографии и кинематографии, созванном Комиссией по научной фотографии и кинематографии Академии Наук СССР в Москве, с 23 по 27 октября 1950 г. Статьи, относящиеся к проблеме фотографической записи звука, являются переработанными докладами, прочитанными на дискуссии в Ленинграде 26—28 июня 1950 г., организованной Комиссией по научной фотографии и кинематографии АН СССР.

В начале сборника помещена вводная статья, кратко освещающая историю развития цветной фотографии. После нее следуют две работы, относящиеся к химии оптических сенсibilизаторов и компонент цветного проявления, которые являются принципиально необходимыми составными частями многослойных цветофотографических материалов. Далее идут четыре работы, посвященные цветному проявлению — процессу, при котором происходит образование красителей цветных изображений.

Проблеме сенситометрии цветных многослойных цветофотографических материалов и процессов, значительно более сложной по сравнению с сенситометрией обычных «черно-белых» фотографических слоев, посвящено семь следующих сообщений.

Затем помещены две работы, в которых рассматриваются методы контрастирования цветных кинонегативов и установки света при печати цветных кинофильмов, — вопросы, имеющие большое значение для технологии производства цветных фильмокопий. Часть сборника, посвященная цветофотографическим проблемам, заканчивается статьей по вопросу восприятия цвета в кинофильмах.

Во второй части сборника освещается проблема фотографической записи звука. Как известно, эта комплексная проблема представляет огромное значение для кинематографии, поскольку благодаря ее развитию немое кино было превращено в звуковое.

В публикуемых статьях рассматриваются различные системы модуляторов света, конструкции модуляторов для звукозаписи в кинематографии, развитие аппаратуры для записи звука и запись звука на узкой пленке.

17424

Библиотека Института  
Филиал Н. СССР



В третьей части сборника помещены работы, относящиеся к отдельным вопросам развития отечественной фотографической науки и техники. Вначале помещены два обзора научно-фотографической деятельности двух наиболее крупных советских центров научной фотографии — московского и ленинградского. Далее следуют две статьи, показывающие творческие достижения и приоритет русской науки. Одна из этих статей посвящена многогранной деятельности С. О. Максимовича; в другой статье описываются забытые работы В. В. Лермантова в области теории проявления и скрытого фотографического изображения, относящиеся к последней четверти прошлого столетия.

Редактирование настоящего сборника выполнено членом-корреспондентом АН СССР К. В. Чибисовым (общая редакция всего сборника), доктором технических наук, профессором П. Г. Тагером (редактирование второй части сборника) и кандидатом химических наук В. И. Шеберстовым (редакционная работа по первой и третьей частям сборника).

*Часть первая*

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ  
ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ  
И КИНЕМАТОГРАФИИ**



К. В. ЧИБИСОВ

### КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА

Первые попытки получения цветного изображения химическим путем были предприняты в период зарождения и становления фотографии. Это вполне понятно и естественно, поскольку глаз человека при световом раздражении, помимо яркостного ощущения, обладает способностью различать цвета. Цветное изображение получается и в фокальной плоскости камеры-обскуры. Все это делало черно-белое фотографическое изображение недостаточно естественным и заставляло упорно работать в течение столетия над цветофотографической проблемой в поисках простого и доступного метода получения изображений в натуральных цветах.

Первым шагом в области цветофотографической проблемы было наблюдение двух интересных фотохимических явлений: выцветания красок и образования цветных фотохлоридов, открытие которых относится к началу XIX столетия, т. е. еще до официальной даты обнародования изобретения фотографии. Использование этих явлений как возможных способов получения цветных изображений не потеряло значения и в настоящее время.

Параллельно с этими первыми шагами на пути к указанной весьма заманчивой цели возникла и постепенно укреплялась трехкомпонентная теория цветного зрения, основные идеи которой впервые мы находим у великого русского ученого М. В. Ломоносова в его труде «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее, июля 1 дня 1756 г. говоренное».

В 1859—1861 гг. Максвелл в доказательство правильности этой теории провел известный опыт воспроизведения цветного изображения путем оптического (слагательного) смешения трех основных цветов. Вследствие несовершенства фотографии того времени получить все три частичные изображения фотографическим путем не представлялось возможным, поэтому в описании указанного опыта говорится о гипотетическом примере. Тем не менее опыт Максвелла — это не только экспериментальное доказательство трехкомпонентного механизма цветовосприятия; этот опыт следует считать вместе с тем открытием общего принципа фотографического получения цветного изображения, складывающегося из двух операций — анализа и синтеза цветов на основе использования трех спектральных зон. Следовательно, имеются все основания считать данное событие в истории цветной фотографии тем первым принципиальным достижением, которое после неудавшихся вначале попыток определило путь ее дальнейшего развития.



К. В. ЧИБИСОВ

### КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА

Первые попытки получения цветного изображения химическим путем были предприняты в период зарождения и становления фотографии. Это вполне понятно и естественно, поскольку глаз человека при световом раздражении, помимо яркостного ощущения, обладает способностью различать цвета. Цветное изображение получается и в фокальной плоскости камеры-обскуры. Все это делало черно-белое фотографическое изображение недостаточно естественным и заставляло упорно работать в течение столетия над цветофотографической проблемой в поисках простого и доступного метода получения изображений в натуральных цветах.

Первым шагом в области цветофотографической проблемы было наблюдение двух интересных фотохимических явлений: выцветания красок и образования цветных фотохлоридов, открытие которых относится к началу XIX столетия, т. е. еще до официальной даты обнародования изобретения фотографии. Использование этих явлений как возможных способов получения цветных изображений не потеряло значения и в настоящее время.

Параллельно с этими первыми шагами на пути к указанной весьма заманчивой цели возникла и постепенно укреплялась трехкомпонентная теория цветного зрения, основные идеи которой впервые мы находим у великого русского ученого М. В. Ломоносова в его труде «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее, июля 1 дня 1756 г. говоренное».

В 1859—1861 гг. Максвелл в доказательство правильности этой теории провел известный опыт воспроизведения цветного изображения путем оптического (слагательного) смешения трех основных цветов. Вследствие несовершенства фотографии того времени получить все три частичные изображения фотографическим путем не представлялось возможным, поэтому в описании указанного опыта говорится о гипотетическом примере. Тем не менее опыт Максвелла — это не только экспериментальное доказательство трехкомпонентного механизма цветовосприятия; этот опыт следует считать вместе с тем открытием общего принципа фотографического получения цветного изображения, складывающегося из двух операций — анализа и синтеза цветов на основе использования трех спектральных зон. Следовательно, имеются все основания считать данное событие в истории цветной фотографии тем первым принципиальным достижением, которое после неудавшихся вначале попыток определило путь ее дальнейшего развития.



Вторым принципиальным достижением в истории цветной фотографии следует считать открытие в 1873 г. оптической сенсibilизации, поскольку только в результате использования этого средства стало практически возможным выполнение первой части цветофотографического метода — анализа цветов путем фотографирования в трех спектральных зонах. Действительно, в последующие годы и особенно в начале XX столетия были достигнуты большие успехи как в области трехцветного метода с раздельным получением цветоделенных негативов, так и в области растрового метода. Однако эти способы цветной фотографии отличались или техническими трудностями или практическими неудобствами.

Значительная часть трудностей и неудобств была устранена только в последние годы, после создания многослойных фотоматериалов и негативно-позитивного цветного процесса, аналогичного по схеме обычной черно-белой фотографии. Но следует отметить, что это могло быть сделано только на основе колоссальной работы, последовавшей за открытием цветного проявления. Поэтому третьим принципиальным достижением в истории цветной фотографии следует считать именно это открытие, сделанное в 1907—1909 гг.

Если взглянуть в ход развития цветной фотографии, достигшей в наши дни значительного совершенства, то нетрудно усмотреть, что решающую роль в этом развитии играла органическая химия. Благодаря упорной и успешной работе химиков были решены основные проблемы цветной фотографии: оптическая сенсibilизация в требуемых спектральных зонах, цветное проявление с выходом нужного цвета красителя, создание недиффундируемости красителя и др.

Наша страна не стояла в стороне от развития цветной фотографии. Из числа пионеров цветной фотографии в дореволюционной России следует назвать Н. И. Козловского, который в 1889 г. взял охранительное свидетельство на первую русскую камеру для цветной съемки. В основу конструкции этой камеры была положена идея одновременной съемки на три пластинки через три светофильтра. В России эта камера распространения не получила, и через некоторое время русское изобретение неправильно было приписано французу Намэ.

Интерес к цветной фотографии проявляли широкие круги фотографов-любителей и профессионалов. В связи с этим на первом съезде русских деятелей по фотографии, созванном в 1896 г., в числе многих других был заслушан также доклад о цветной фотографии. Цветофотографической проблемой живо интересовался корифей русской науки К. А. Тимирязев, который немало сделал для распространения фотографических знаний и, в частности, вскоре после съезда докладывал об успехах цветной фотографии в Русском фотографическом обществе.

Далее, следует указать на работы (около 1900 г.) лаборанта физического кабинета Московского университета И. Ф. Усагина в области усовершенствования интерференционного способа цветной фотографии, на работы С. М. Прокудина-Горского и особенно на работы С. О. Максимова, плодотворной деятельности которого в области цветной фотографии и кинематографии в настоящем сборнике посвящена отдельная статья.

Однако в дореволюционной России не было условий для использования научно-технических достижений в промышленности, а развитию последней мешала конкуренция иностранных фирм. Поэтому многие работы русских ученых, в том числе и в области фотографии, развивались разрозненно и бессистемно, при успешном же решении некоторых задач они не находили необходимой поддержки. Это коренным образом изменилось после Великой Октябрьской социалистической революции,

особенно в годы первых пятилеток, когда были созданы отечественная кинофотопромышленность и научно-исследовательские лаборатории и институты.

Годы первой и второй пятилеток характеризуются поиском путей решения цветофотографической проблемы, особенно по линии создания цветной кинематографии, поскольку это и есть та область, где проблема цвета имеет, пожалуй, наиболее важное значение. После неудачных попыток использовать для кинематографии слогательное (аддитивное) смешение цветов, дальнейшая работа развивалась в направлении методов, основанных на субтрактивном смешении. Первоначально был разработан и освоен в производстве двухцветный виражный метод, с помощью которого было выпущено несколько цветных кинокартин. В этих работах принимали участие Н. Н. Агокас, Ф. Ф. Проворов, А. Н. Иорданский и др.

Однако ввиду органического порока двухцветного метода, основная научная работа развивалась по линии использования трех спектральных зон. Эти исследования протекали по двум руслам: с одной стороны, разрабатывался гидротипный процесс, а с другой, велись изыскания в целях создания многослойных фотоматериалов. И то и другое дало положительные результаты.

Работы в области гидротипии привели к двум вариантам решения этой задачи: во-первых, к процессу с дубящим проявлением (К. С. Ляликов, И. А. Черный и Л. П. Крылов) и, во-вторых, к процессу с хромированной желатиной и дубящей отбелкой (П. М. Мершин, В. И. Успенский, А. Н. Иорданский, Ф. Ф. Проворов и др.). Для осуществления киносъемки в трех спектральных зонах была сконструирована и изготовлена специальная камера со светорасщепительным устройством (А. А. Мин, И. А. Черный, Ф. Ф. Проворов). Гидротипный процесс для тиража цветных кинокартин не исчерпал себя и в настоящее время, если иметь в виду возможность его сочетания с негативно-позитивным методом на многослойной пленке.

Работы по второму направлению были начаты с исследования процесса обесцвечивания некоторых красителей в присутствии металлического серебра (Г. И. Арбузов, Д. М. Самойлович и др.). Это исследование привело не только к интересным научным выводам о механизме процесса, но также к некоторым практическим результатам.

Особое место в цветной фотографии в советский период занимает большая и трудная работа по созданию цветных растровых фотопластинок, которую проводил в ГОИ К. С. Ляликов с сотрудниками. Эта работа была доведена до стадии промышленного освоения, но, естественно, не могла выдержать конкуренции цветофотографического метода на многослойных пленках.

Основное значение имели исследования в области многослойных фотоматериалов с цветным проявлением. Детальное изучение химии цветного проявления, которое проводили, с одной стороны, академик А. Е. Порай-Кошиц и его сотрудники, а с другой, — В. С. Чельцов, Г. И. Арбузов и А. Н. Иорданский, дало возможность практически осуществить проявление многослойных пленок в НИКФИ в 1942—1943 гг. Принципиально вопрос о цветофотографическом методе на многослойной пленке с цветным проявлением был разрешен в конце 1944 г., о чем свидетельствуют соответствующие отчетные материалы и научный обзор, опубликованный В. С. Чельцовым, Г. И. Арбузовым и А. Н. Иорданским в «Успехах химии» в начале 1945 г.

Проведенные работы позволили советским специалистам быстро освоить и развить процессы изготовления и обработки многослойных



фотоматериалов для осуществления негативно-позитивного метода цветной фотографии и кинематографии. Если вникнуть во всю тонкость принципа и сложность технологии производства и обработки цветных многослойных фотоматериалов, то нетрудно понять, что получение высококачественных цветных изображений на многослойных фотоматериалах, особенно цветных кинокартин, является одним из примеров тончайшей химической технологии. Вместе с тем следует отметить, что сложная технология этого производства как бы поглотила все те трудности, которые являлись серьезным препятствием и ограничивали сколько-нибудь широкое применение любого трехцветного способа с разделным получением цветоделенных негативов.

Публикуемые в настоящем сборнике материалы свидетельствуют о том, что за годы послевоенной пятилетки в СССР достигнуты значительные успехи в области производства и применения многослойных цветофотографических материалов. Благодаря этому стало возможным успешное развитие цветной кинематографии, выпускающей в настоящее время высококачественные цветные кинофильмы. Значительные успехи достигнуты также в области цветной фотографии и ее применения в науке и технике.

В настоящее время продолжается усиленное и настойчивое искание новых способов дальнейшего усовершенствования всех сторон сложного цветофотографического процесса.

И. И. ЛЕВКОЕВ, З. П. СЫТНИК  
и С. В. НАТАНСОН

### ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСИБИЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ЦВЕТНЫХ КИНОФОТОМАТЕРИАЛОВ

Оптические сенсibilизаторы, применяемые для цветных многослойных кинофотоматериалов, содержащих недиффундирующие компоненты, должны отвечать определенным специфическим требованиям.

Основными из них являются строго заданные, иногда очень узкие области очувствления галогенного серебра и сохранение высокого сенсibilизирующего действия в присутствии недиффундирующих цветных компонент. Важным условием является отсутствие диффузии сенсibilизаторов из одного светочувствительного слоя в соседние, а также возможность вымывания или разрушения их в процессе обработки. Последнее требование имеет особое значение для сенсibilизаторов цветных фотобумаг.

Сенсibilизаторы многослойных негативных пленок должны равномерно очувствлять галогенное серебро соответственно к зеленым и желтым (500—600 м $\mu$ ) и к оранжевым и красным лучам (600—670 м $\mu$ ). Некоторое перекрытие зон сенсibilизации среднего и нижнего эмульсионных слоев не только допустимо, но практически положительно влияет на цветопередачу.

Наоборот, для цветных позитивных кинофотоматериалов необходимо использовать сенсibilизаторы с неперекрывающимися, максимально узкими зонами очувствления, причем для оптимальной цветопередачи максимумы сенсibilизации красителей должны по возможности совпадать соответственно с максимумами поглощения пурпурного и голубого красителей, образующих изображение в среднем и нижнем слоях негативных пленок. Для подобных светочувствительных слоев наиболее пригодными явились бы сенсibilизаторы, дающие лишь одну полосу сенсibilизации. К сожалению, почти все красители адсорбируются на галогенном серебре не только в мономолекулярном, но частично и в полимерном состоянии, что ведет к появлению нескольких полос сенсibilизации и к расширению зоны очувствления [1].

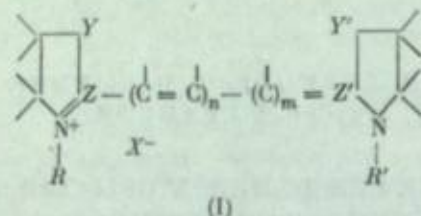
Сенсibilизирующее действие большинства высокоэффективных красителей, используемых для очувствления черно-белых кинофотоматериалов, резко снижается в присутствии недиффундирующих цветных компонент. Поэтому приходится изыскивать специальные «компонентоустойчивые» сенсibilизаторы. Наиболее труден подбор панхроматических сенсibilизаторов для нижнего слоя цветных пленок и фотобумаг, так как недиффундирующие производные фенолов, вводимые в этот слой



(«голубые» компоненты), особенно сильно подавляют сенсibiliзирующее действие красителей.

Необходимо также учитывать, что относительно высокая спектральная чувствительность кинофотоматериалов, содержащих недиффундирующие компоненты, при хранении часто быстро понижается.

Цианиновые красители (I) в большинстве случаев обладают значительной способностью к полимеризации и дают широкие зоны оцветвления, состоящие из двух или трех полос [1]:



где  $Y, Y' - O, S, Se, C(R)_2, NR, \dot{C} = \dot{C}$  и т. п.

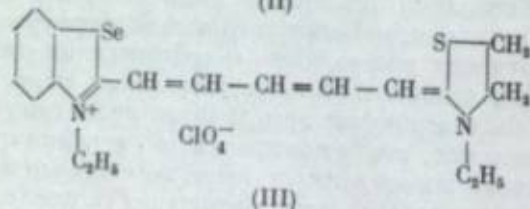
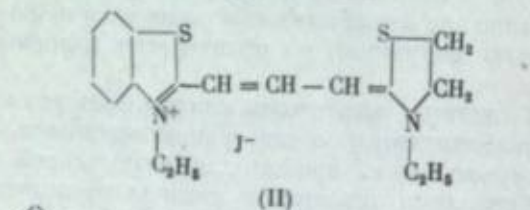
$Z, Z'$  — группировки  $=\dot{C}-$ ,  $=\dot{C}-\dot{C}-$  или  $=\dot{C}-\dot{C}=\dot{C}-$  (в последних двух случаях группа  $Y$  или  $Y'$  отсутствует);  
 $n - 0, 1, 2, 3, 4$  или  $5$ ;

$m - 1$ ; если  $Z$ -группа  $=\dot{C}-\dot{C}=\dot{C}-$ , то  $m = 0$ ;

$R, R'$  — углеводородный остаток, который может содержать различные заместители;

$X$  — кислотный остаток.

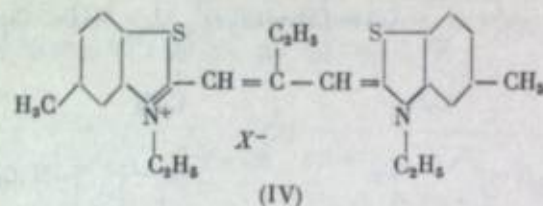
Исключение составляют красители с остатком тиазолина (например, II), у которых дополнительные полосы оцветвления обычно выражены в меньшей степени [2]. Однако зона сенсibiliзации большинства соответствующих карбоцианинов может распространяться лишь на зеленую часть спектра, а красители с более длинной полиметиновой цепью (например, III) недостаточно эффективны.



Поэтому обычные цианиновые красители мало пригодны для оцветвления нижнего слоя цветных позитивных кинофотоматериалов.

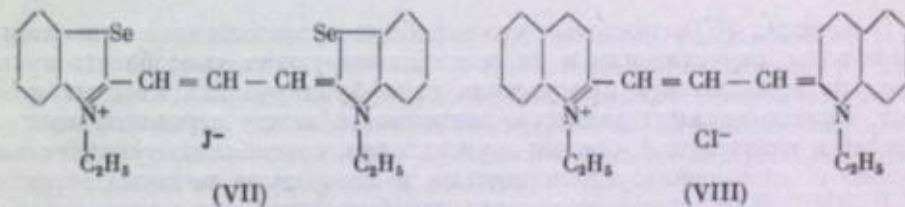
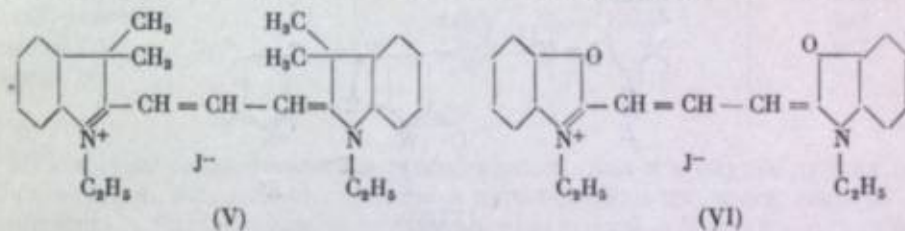
Сенсibiliзирующая способность красителей этого класса, содержащих незамещенные гетероциклические остатки, обычно резко падает при введении в эмульсию недиффундирующих цветных компонент, особенно производных 1-окси-2-нафтойной кислоты. Так, дополнительная чувствительность эмульсий, достигаемая при применении в качестве

сенсibiliзатора достаточно эффективного 3,3',9-триэтил-5,5'-диметилтиакарбоцианина (IV),

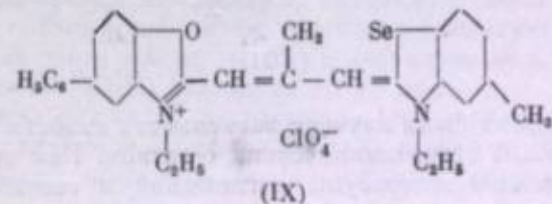


понижается в присутствии подобных компонент в 14—25 раз, а чувствительность под красным фильтром — даже в 30—75 раз. При этом спектр сенсibiliзации резко изменяется: полностью исчезает длинноволновая полоса, отвечающая так называемой сенсibiliзации второго порядка.

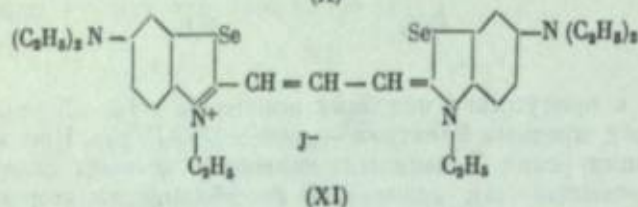
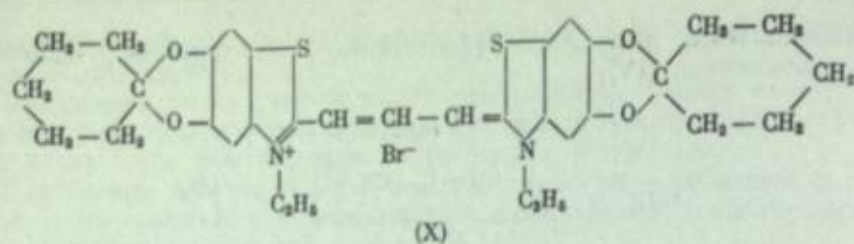
Устойчивость сенсibiliзирующего действия в отношении недиффундирующих цветных компонент для незамещенных в гетероостатках цианиновых красителей пропорциональна до некоторой степени их основности. Так, в присутствии этих веществ наиболее резко падает сенсibiliзирующая способность малоосновных карбоцианинов с остатками индолина (V) и бензоксазола (VI), в меньшей степени более основны тиа- и селенакарбоцианинов (VII). Наконец, эффективность хинокарбоцианинов (VIII), обладающих значительной основностью, лишь несколько уменьшается при введении в эмульсию недиффундирующих компонент.



Более устойчива к присутствию недиффундирующих компонент сенсibiliзирующая способность карбоцианинов, содержащих заместители в гетероциклических остатках. Особенно повышается «компонентоустойчивость» подобных красителей при введении в гетероостатки заместителей с большим молекулярным весом, например фенильных [3], бензо- или сложных алкоксигрупп [4] (IX, X) или сильно электроположительных группировок [5] (XI).

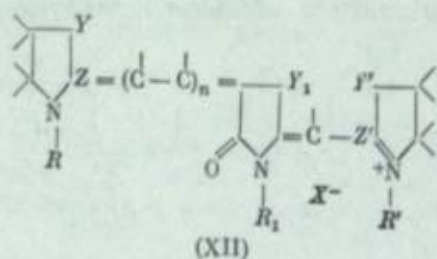






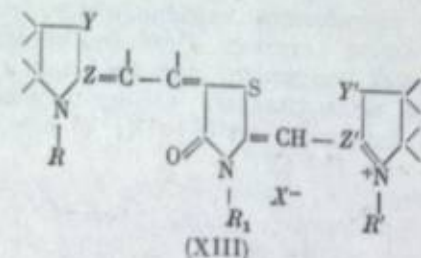
Красители последнего типа (XI) дают, однако, слишком широкие зоны сенсibilизации в связи с большой склонностью к полимеризации.

В качестве сенсibilизаторов для нижнего слоя цветных кинофото-материалов были предложены сложные трехъядерные красители общего строения (XII), [6], которые названы родацианинами. Эти красители содержат группировки, характерные как для мероцианинов, так и для цианинов, поэтому правильнее называть их мероцианиноцианинами.



В патентах [6] отмечается, что подобные красители дают относительно узкие зоны очувствления и их сенсibilизирующая способность практически не изменяется в присутствии недиффундирующих цветных компонент. Однако никаких данных о зависимости между строением этих красителей и их окраской, зонами очувствления, сенсibilизирующей способностью и «компонентоустойчивостью» в литературе не приводится.

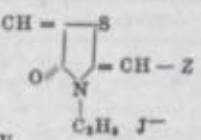
В НИКФИ в течение последних лет были проведены синтез и исследование свойств родацианинов — производных тиазолинона (4) строения (XIII):



В первую очередь была изучена зависимость свойств этих красителей от природы крайних гетероциклических остатков. Как видно из табл. 1, в которой приведены максимумы поглощения и сенсibilизации рода-

цианинов, содержащих одинаковые гетероостатки по концам полиметиновой цепи, красители данного класса в зависимости от природы этих остатков очувствляют галогидное серебро к зеленой, желтой, оранжевой или красной частям спектра, а некоторые — и к инфракрасной области (максимум сенсibilизации от 550 до 770 м $\mu$ ).

Таблица 1

Гетероостаток Z	Z = CH - CH =  - CH - Z		Z = CH - CH - CH - Z
	XIV		
	XV		
Максимум, м $\mu$			
	поглощения	сенсibilизации	поглощения
Тиазолин . . . . .	530	555	445
Бензоксазол . . . . .	555	580	484
5-CH <sub>3</sub> -тиодиазол (1, 3, 4) . . . . .	565	600	514
Тиазол . . . . .	582	615	543
Бензтиазол . . . . .	600	630	558
Бензселеназол . . . . .	604	640	572
Пиридин (2) . . . . .	602	630	562
3, 3-CH <sub>3</sub> -индоленин . . . . .	616	645	548
Хинолин (2) . . . . .	659	710	607
Хинолин (4) . . . . .	730	770	710

Максимумы сенсibilизации родацианинов, как и в случае других сенсibilизаторов, несколько смещены в длинноволновую часть спектра по отношению к максимумам поглощения красителей в спиртовом растворе (на 26—55 м $\mu$ ).

Данные этой таблицы показывают, что порядок расположения родацианинов, содержащих по концам сопряженной цепи одинаковые гетероостатки (XIV), по батохромному действию крайних гетероциклических остатков отличается от такового в симметричных карбоцианинах (XV): максимум поглощения красителя с остатками индоленина (616 м $\mu$ ) резко смещен в длинноволновую часть спектра.

В значительно большей степени это отличие выявляется из данных табл. 2, которые показывают, что положение максимумов поглощения (а следовательно, и зона сенсibilизации родацианинов) определяется не только природой гетероостатков, но в значительной, а иногда и в решающей степени их положением по отношению к центральному тиазолиновому ядру.

Различия в положениях максимумов поглощения родацианинов, отличающихся лишь положением гетероостатков, могут достигать очень больших величин, причем, как видно из таблицы, в одних случаях в более длинноволновой области поглощают красители с бензтиазольным остатком в мероцианиновой части молекулы (XVI) (различие до 57 м $\mu$ ), а в других — в цианиновой (XVII) (различие до 79 м $\mu$ ).

Выяснение этих сложных закономерностей являлось предпосылкой для синтеза родацианинов с заданной зоной и максимумом сенсibilизации. Поэтому было проведено систематическое изучение зависимости



Таблица 2

Гетероостаток Z			Смещение максимума поглощения при переходе от XVI к XVII
	(XVI)	(XVII)	
Максимум поглощения, мμ			
Бензимидазол	501	580	+79
Пиридин (2)	566	606	+40
Хинолин (4)	644	674	+30
Тиазол	571	600	+29
Хинолин (2)	624	627	+3
Бензселеназол	603	600	-3
Бензоксазол	586	569	-17
Тиазолин	573	555	-18
3, 3-CH <sub>2</sub> -индоленин	634	577	-57

окраски красителей данного класса от природы и положения гетероциклических остатков (З. П. Сытник).

Для этого было синтезировано около 100 подобных красителей с остатками бензтиазола, бензселеназола, бензоксазола, 1-метил-бензимидазола, 3,3-диметилиндоленина, хинолина (2 и 4), тиазола, 5-метилтиодиазола (1, 3, 4) и пиридина (2).

Исследование оптических свойств этих красителей показало, что их окраска в значительной степени определяется относительной основностью азотистых гетероостатков (склонностью атома азота к отдаче электрона), выведенной из величин гипсохромных смещений несимметричных цианинов и склонности симметричных карбоцианинов к переходу в двухкислотные соли.

Оказалось, что чем выше основность остатка в цианиновой части молекулы родацианина, тем больше его максимум поглощения смещен в коротковолновую часть спектра. При этом величина смещения заметно уменьшается с ростом основности второго гетероостатка. Таким образом, относительный гипсохромный сдвиг максимума поглощения при изменении гетероостатков в цианиновой части молекулы родацианинов тем значительнее, чем больше различие основности крайних остатков.

Это положение хорошо иллюстрируют данные табл. 3, в первой части которой приведены максимумы поглощения родацианинов с остатками 3,3-диметилиндоленина (малоосновный), бензтиазола (средней основности), тиазола и пиридина (2) (сильно основные). Максимумы поглощения симметричных карбоцианинов с этими остатками близки между собой (различия до 19 мμ), ввиду чего влияние на окраску природы самих остатков примерно одинаково.

Так, при замене в цианиновой части молекулы родацианинов остатка индоленина на значительно более основной остаток пиридина (2) во всех приведенных случаях происходит повышение окраски. Однако величина этого гипсохромного сдвига снижается от 76 мμ для красителя с малоосновным остатком индоленина в мероцианиновой части молекулы до

Таблица 3

Гетероостаток Z <sub>1</sub>					Максимум поглощения карбоцианинов XV (Z <sub>2</sub> )
	Гетероостаток, Z <sub>1</sub>				
	3,3-CH <sub>2</sub> -индоленин	Бензтиазол	Тиазол	Пиридин (2)	
Макс. поглощения, мμ					
3,3-CH <sub>2</sub> -индоленин	616	634	631	602	548
Бензтиазол	577	600	600	606	558
Тиазол	552	571	582	588	543
Пиридин (2)	540	566	583	602	562
Тиазолин	551	572	579	583	445
Хинолин (4)	616	644	664	680	710

2 мμ в случае родацианина с остатком пиридина (2) в том же положении. С другой стороны, повышение основности остатка в мероцианиновой части молекулы родацианинов [Z<sub>1</sub> в формуле (XVIII)] почти во всех случаях вызывает относительное смещение максимума поглощения в длинноволновую часть спектра. Величина этого смещения последовательно падает с понижением основности второго гетероостатка [Z<sub>2</sub> в формуле (XVIII)] и в случае значительного различия в основностях обоих остатков наблюдается уже не bathochromный, а гипсохромный сдвиг максимума поглощения (см. табл. 3, красители с Z<sub>2</sub>-индоленин).

Следует отметить, что максимумы поглощения приведенных в табл. 3 родацианинов с остатками тиазола и тиазолина, а также хинолина (4) и индоленина (при Z<sub>1</sub> остаток индоленина) в цианиновой части молекулы практически совпадают, хотя различие в положениях максимумов поглощения соответствующих симметричных карбоцианинов составляет в первом случае 98 мμ, а во втором даже 162 мμ.

При введении заместителей электроотрицательного характера в остаток мероцианиновой части молекулы родацианинов обычно наблюдается смещение максимума поглощения в коротковолновую часть спектра, в то время как эти же группы в цианиновом остатке вызывают довольно значительный bathochromный сдвиг.

Вступление электроположительных заместителей в крайние остатки родацианинов в большинстве случаев оказывает bathochromное влияние на положение максимума поглощения. Однако величина наблюдаемого сдвига значительно меньше в том случае, когда заместитель находится в цианиновой части молекулы красителя (табл. 4).

Такой характер влияния заместителей, вводимых в крайние гетероциклические остатки, на окраску родацианинов становится понятным, если принять во внимание, что полярные группы оказывают также влияние на основность гетероостатков, повышая или понижая ее. В этом случае указанные выше наблюдения находятся в полном соответствии с рассмотренными ранее выводами о влиянии на окраску родацианинов изменения основности крайних гетероостатков и дополнительно подтверждают эти выводы.



Таблица 4

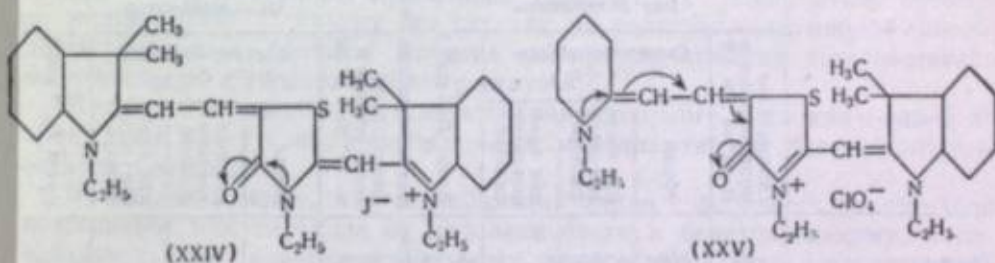
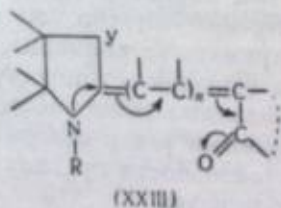
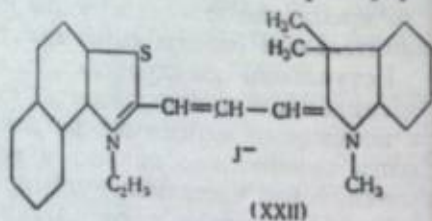
R	Максимум поглощения, нм		Сдвиг
	(XXI)	(XXII)	
H	600	600	—
	618	501	—9
	602	605	5
	610	632	32
NO <sub>2</sub>	600	600	—
	618	501	—9
	602	605	5
	610	632	32
NHCOCH <sub>3</sub>	600	600	—
	618	501	—9
	602	605	5
	610	632	32
N (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub>	600	600	—
	618	501	—9
	602	605	5
	610	632	32

Зависимость окраски родацианинов от их строения может быть объяснена с точки зрения современных представлений об окраске несимметричных полиметиновых красителей.

Как впервые показал А. И. Киприанов [7], у несимметричных цианинов, в которых оба атома азота гетероостатков близки по основности, максимум поглощения совпадает со средним арифметическим значением из максимумов поглощения соответствующих симметричных красителей. Если же в красителе гетероостатки значительно отличаются между собой по основности, то максимум поглощения смещен в коротковолновую часть спектра по сравнению с вычисленным значением.

Таким образом, в случаях, когда положительный заряд сосредоточен преимущественно на одном из атомов азота, например XXII, и, следовательно, распределение электронной плотности в полиметиновом хромофоре красителя становится неравномерным, наблюдается повышение окраски.

При этом величина гипсохромного смещения тем больше, чем значительнее различие в основности гетероостатков в молекуле красителя, т. е. чем неравномернее распределение электронной плотности в его хромофоре.



Повышение основности гетероостатка в цианиновой части молекулы подобного красителя будет приводить к дальнейшему увеличению положительного заряда на атоме азота правого гетероостатка, следствием чего должно быть смещение максимума поглощения в коротковолновую часть спектра.

Наоборот, при повышении в родацианине основности остатка в мероцианиновой части молекулы электронные смещения от последнего на карбонильный кислород будут возрастать, в результате чего оттяжка электрона от атома центрального ядра уменьшится и его основность повысится. При этом в красителе, очевидно, будет иметь место более равномерное распределение электронной плотности во всем хромофоре, что должно вести к углублению окраски.

С другой стороны, в случае очень высокоосновного остатка в мероцианиновой и малоосновного в цианиновой части молекулы родацианина

Аналогичные явления наблюдаются в ряду мероцианинов (XXIII) [8, 9]: наиболее глубокой окраской обладают красители, в которых электронная плотность в полиметиновом хромофоре относительно выравнена. Всякое нарушение равномерного распределения электронной плотности в хромофоре в результате изменения в красителе основности азотсодержащего остатка или электроноакцепторной способности карбонильного кислорода или путем изменения полярности среды приводит к повышению окраски.

В несимметричной молекуле родацианинов имеется сочетание двух аукохромофорных систем — мероцианинового и цианинового типов. Простой характер спектров поглощения этих красителей в видимой области указывает на отсутствие в них двух изолированных хромофоров и на возможность электронных смещений вдоль всей цепи, связывающей атомы азота крайних гетероостатков.

Исходя из приведенных выше данных об окраске несимметричных полиметиновых красителей, можно ожидать, что в ряду родацианинов наиболее глубокой окраской должны обладать соединения, в которых электронная плотность наиболее равномерно распределена вдоль всего полиметинового хромофора. В исследованных красителях степень равномерности распределения электронной плотности в хромофоре зависит от основности атомов азота крайних гетероостатков, поскольку центральное ядро во всех случаях остается постоянным.

Если основность гетероостатка в мероцианиновой части молекулы родацианина мала, то электронные смещения от него на карбонильный кислород незначительны. Поэтому в подобных красителях происходит значительная оттяжка кислородом карбонильной группы электрона от атома азота центрального остатка и основность последнего сильно понижена. Вследствие этого строение, например нидородацианина, наиболее правильно изображает формула (XXIV):



основность азота центрального ядра может стать заметно больше основности азота правого остатка.

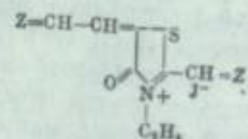
В подобных красителях, например в пиридо-(2)-индолодацианине, строение которого наиболее правильно изображает формула (XXV), распределение электронной плотности в хромофоре вновь становится менее равномерным, что также должно повести к смещению максимума поглощения в коротковолновую область.

Эти соображения находятся в полном соответствии с разобранными выше зависимостями между окраской родацианинов и основностью крайних гетероостатков, входящих в их молекулу.

Установленная закономерность позволяет рассчитывать положения максимумов поглощения, а следовательно, и максимумов сенсibilизации родацианинов с достаточной точностью.

Фотографические свойства всех синтезированных родацианинов изучались на негативных бромодосеребряных эмульсиях (С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц). В качестве недиффундирующих цветных компонент использовались замещенные амиды 1-окси-2-нафтойной кислоты, которые вводились в эмульсию, уже содержащую сенсibilизатор. Как оказалось, зависимость между сенсibilизирующей способностью родацианинов и их строением очень сложна. Некоторые из этих красителей достаточно

Таблица 5



Гетероостаток Z	Без компоненты					С компонентой					
	Оптимальная концентрация в м. 10 <sup>4</sup> на 1 м. Ag	Светочувствительность S <sub>d0,85</sub>				Вуаль D <sub>0</sub> (8 мин.)	Оптимальная концентрация в м. 10 <sup>4</sup> на 1 м. Ag	Светочувствительность S <sub>d0,85</sub>			
		общая	при желтом световом фильтре	при красном световом фильтре	при красном световом фильтре			общая	при желтом световом фильтре	при красном световом фильтре	при красном световом фильтре
Тиазолин . . . .	64	650	200	—	0,12	192	380	70	—	0,15	
Бензоксазол . . . .	192	500	120	14	0,22	256	300	14	1,5	0,25	
Тиазол . . . . .	64	560	230	76	0,37	128	390	34	14	0,30	
Бензтиазол . . . .	8	370	42	18	0,10	64	345	20	9	0,15	
Бензселеназол . . .	16	465	62	26	0,12	16	320	42	9,5	0,10	
Пиридин (2) . . . .	16	220	20	8	0,33	32	200	7	—	0,15	
Индоленин . . . .	4	350	12	—	0,09	16	320	7	—	0,12	
Хинолин (2) . . . .	4	205	11	1,5	0,30	16	200	8	<1	0,15	
Хинолин (4) . . . .	1	180	10	1,8	0,43	2	190	6	<1	0,25	
Контрольная эмульсия . .		370	10,6	—	0,09	—	380	10	—	0,12	

эффективны, у других же сенсibilизирующее действие выражено весьма слабо. В табл. 5 приведены результаты сравнительного испытания родацианинов, содержащих одни и те же гетероостатки как в цианиновой, так и мероцианиновой части молекулы красителей.

Из таблицы видно, что достаточной эффективностью обладают красители с остатками тиазолина, тиазола и бензоксазола [также 5-метилтиодиазола (1, 3, 4)]. Заметно ниже сенсibilизирующая способность у производных бензтиазола и бензселеназола. Наконец, родацианины с остатками хинолина (2 и 4), пиридина (2) и особенно индоленина являются весьма слабыми сенсibilизаторами.

В присутствии компоненты оптимальная концентрация красителя в эмульсии во всех случаях сильно возрастает. Однако данные таблицы показывают, что величина достигаемой дополнительной чувствительности в присутствии компоненты у всех красителей этой группы снижается, иногда в очень большой степени — от 1,5 до 10 раз. Таким образом, все родацианины не могут быть охарактеризованы как компонентоустойчивые сенсibilизаторы.

Очень сильно падает в присутствии голубых компонент сенсibilизирующая способность родацианинов с остатками бензоксазола, тиазола и тиодиазола (1, 3, 4), в меньшей степени — производных тиазолина, бензтиазола и особенно бензселеназола. Следовательно, между компонентоустойчивостью родацианинов и степенью основности входящих в их состав гетероциклических остатков нет простой зависимости.

Еще более сложные закономерности наблюдаются в случае родацианинов, содержащих различные гетероциклические остатки по концам полиметиновой цепи. Эффективность подобных красителей с остатками средней основности (бензтиазол, бензселеназол, тиазолин, бензоксазол) обычно является промежуточной по сравнению с сенсibilизирующей способностью соответствующих красителей, содержащих одинаковые остатки по концам цепи. В других же случаях на сенсibilизирующую способность оказывает большое влияние положение крайних гетероостатков по отношению к тиазолиновому ядру.

В табл. 6 приведены результаты сравнительного испытания одной из групп этих красителей, содержащих в мероцианиновой части молекулы остаток бензтиазола.

Из таблицы видно, что сенсibilизирующая способность значительно повышается при переходе от индоленинового к бензтиазольному, бензселеназолному и бензоксазолному производным и достигает максимальных величин в случае красителей с остатками тиазола и пиридина (2). Таким образом, эффективность возрастает с увеличением основности гетероостатка цианиновой части молекулы красителя. Однако повышение основности этого остатка, как уже указывалось, ведет к смещению максимума поглощения, а следовательно, максимума и всей зоны сенсibilизации в коротковолновую часть спектра. Поэтому при замене в красителях этой группы, например, остатка бензселеназола на более основной остаток тиазола или пиридина (2), достигаемая чувствительность за красным фильтром остается на том же уровне, хотя дополнительная чувствительность и возрастает более, чем в 2 раза.

Дальнейшая работа подтвердила эту важную закономерность. Во всех исследованных случаях большей эффективностью обладают родацианины, содержащие более основной остаток в цианиновой части молекулы.

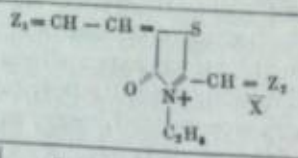
Хорошо иллюстрируют это положение данные табл. 7. Сенсibilизирующая способность родацианина с крайними по основности остатками



Таблица 6

Гетероостаток Z	Светочувствительность $S_{d_{0,85}}$			Вуаль $D_8$ (8 мин.)	Максимум сенсibilизации, нм
	общая	при желтом светофильтре	при красном светофильтре		
Индоленин . . . . .	270	10	4,2	0,17	665
Бензтиазол . . . . .	380	54	22	0,17	630
Бензселеназол . . . . .	340	52	24	0,12	640
Бензоксазол . . . . .	340	76	16	0,15	615
Тиазолин . . . . .	360	95	16	0,17	605
Тиазол . . . . .	390	124	20	0,22	605
Пиридин (2) . . . . .	340	120	26	0,20	610
Контрольная эмульсия .	340	10	—	0,13	—

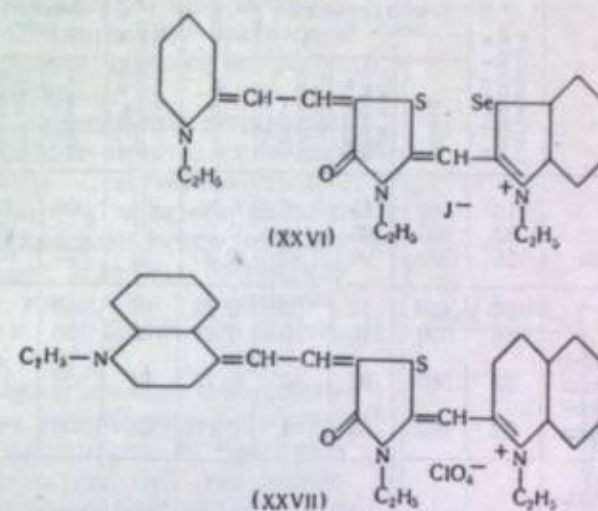
Таблица 7

Гетероостатки		Светочувствительность $S_{d_{0,85}}$			Вуаль $D_8$ (8 мин.)	
$Z_1$	$Z_2$	Максимум сенсibilизации, нм	общая	при желтом светофильтре		
						
Пиридин (2)	Индоленин	630	140	22	8	0,37
Пиридин (2)	Индоленин	670	230	24	7	0,24
Индоленин	Пиридин (2)	580	520	180	20	0,18
Индоленин	Индоленин	654	230	12	<1	0,13
Бензселеназол	Индоленин	645	230	82	38	0,24
Бензселеназол	Индоленин	670	200	24	10	0,24
Индоленин	Бензселеназол	630	260	90	27	0,24
Бензселеназол	Пиридин (2)	615	260	100	30	0,21
Пиридин (2)	Бензселеназол	640	235	23	9	0,40
Контрольная эмульсия		—	320	12	—	0,14

индоленина в мероцианиновой и пиридина (2) в цианиновой части молекулы более чем в 7 раз выше, чем у изомерного красителя.

Однако гипсохромное смешение зоны сенсibilизации затрудняет применение подобных красителей в качестве панхроматических сенсibilизаторов.

Родацианиновые красители, содержащие сильно основной остаток, [например, пиридин (XXVI)] в мероцианиновой части молекулы, обладают заметным вуалирующим действием. Это свойство характерно также для ряда подобных красителей с остатком хинолина (например, (XXVII)),



Эти красители обладают высокой основностью, т. е. обесцвечиваются уже в слабощелочной среде.

Показано, что все подобные красители легко образуют с ионами серебра комплексные соединения (К. И. Покровская). Интересно, что вуалирующая способность этих красителей резко понижается в присутствии недиффундирующих цветных компонент.

Сенсibilизирующая способность родацианинов, содержащих различные незамещенные гетероостатки по концам цепи, в присутствии недиффундирующих производных 1-окси-2-нафтойной кислоты также значительно понижается. Наблюдаемые при этом закономерности весьма сложны, причем относительно более «компонентоустойчивы» красители — производные бензтиазола и бензселеназола.

Путем введения в гетероостатки родацианинов заместителей устойчивости их сенсibilизирующего действия к присутствию недиффундирующих компонент может быть резко увеличена. Из данных табл. 8 видно, что с замещенными красителями могут быть достигнуты одни и те же значения чувствительности эмульсии за желтым и красным фильтрами как в отсутствие, так и в присутствии компоненты. В последнем случае, однако, как правило, приходится увеличивать количество красителя, вводимого в эмульсию.

При вступлении некоторых заместителей в гетероостатки эффективность красителей может несколько понижаться. Однако в присутствии компоненты достигаемая дополнительная чувствительность, наоборот, резко возрастает.

Как видно из примера красителей с остатками бензселеназола и  $\beta$ -нафтотиазола (табл. 8), положение гетероостатков в отношении тиазолино-







желатины практически не влияет на десорбируемость сенсibilизаторов под влиянием компонент<sup>1</sup>.

Сравнение рис. 2 и 3, на которых приведены кривые зависимости количества десорбированного красителя и величины сенсibilизирующего действия от количества введенной в систему компоненты, показывает, что эти зависимости для данного ряда красителей идентичны.

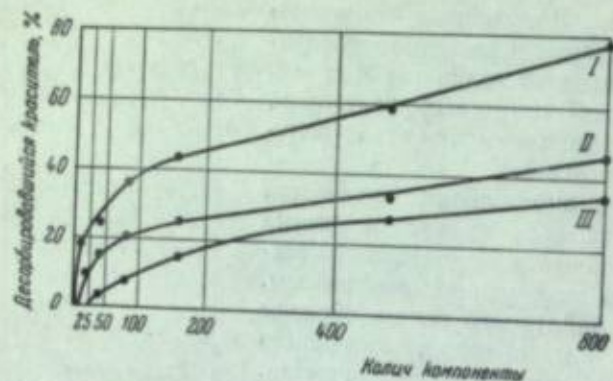


Рис. 2. Кривые десорбции красителей I—III в зависимости от количества введенной компоненты. По горизонтальной оси — количество компоненты в молях на моль адсорбированного красителя.

Сопоставление полученных данных подтверждает, таким образом, высказанное предположение о том, что основным фактором, определяющим компонентоустойчивость сенсibilизаторов, является их различная способность к адсорбции на поверхности бромистого серебра. Основной причиной десорбции в этих условиях красителей с поверхности бромистого серебра является, по видимому, вытеснение сенсibilизатора адсорбирующейся на той же поверхности компонентой.

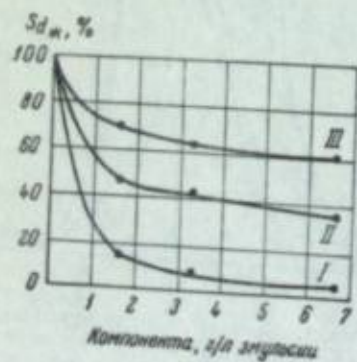


Рис. 3. Зависимость величины сенсibilизирующего действия красителей I—III от количества компоненты в эмульсии.

Эти данные показывают, что описанный метод позволяет качественно оценивать компонентоустойчивость сенсibilизаторов без проведения фотографических испытаний.

<sup>1</sup> Следует отметить, что в присутствии педифундирующих голубых компонент в системе адсорбции красителей на бромистом серебре резко падает.

Таблица 9

Гетеростатон Z	$Z - \text{CH} - \text{CH} \begin{array}{l} \diagup \text{S} \\ \diagdown \text{N}^+ \\ \text{O} \end{array} \begin{array}{l} \text{CH} = Z \\ \text{X} \end{array}$ $\text{C}_6\text{H}_5$	
	Степень снижения сенсibilизирующего действия	Количество компоненты, вызывающее десорбцию (в молях на моль адсорбированного красителя)
4,5-Дифенилтиазол . . .	—	80
Бензтиазол . . . . .	2—3	25
Тиазолин . . . . .	3—4	25
Тиазол . . . . .	6—8	8
Бензоксазол . . . . .	8—10	6

В данной работе принимали участие Э. Б. Лифшиц, М. В. Дейчмейстер, Н. С. Спасокукоцкий, К. И. Покровская, Л. Д. Жилина и Р. А. Герштейн.

## ЛИТЕРАТУРА

- С. В. Натансон. Тр. НИКФИ, 1944, 7, 34.
- L. Brooker. Journ. Am. Chem. Soc. 1936, 58, 662.
- I. G. Farbenind., Akt. Ges., Brit. pat. 495116 (С 1939 I, 1919); фр. пат. 856703 (С 1941, I, 1639); бельг. пат. 434997 (С 1941, II, 152).
- Gener. Aniline and Film Corp., ам. пат. 2423217 (С. А. 41, 6828с); 2429574 (С. А. 42, 832 b).
- I. G. Farbenind. Akt. Ges., фр. пат. 824324 (С 1938, I, 4271).
- I. G. Farbenind. Akt. Ges., фр. пат. 873338; 886235; швейц. пат. 218381; ит. пат. 378810; брит. пат. 487051, 489335.
- А. И. Кирианов, Г. Т. Пилюгин. Уч. зап. ХДУ. 1937, 10, 91; Булл. Всесоюз. об-ва им. Менделеева, 1939, № 3—4, 60; А. И. Кирианов, ДАН УССР, 1940, 12, 3.
- А. И. Кирианов, Е. С. Тимошенко. ЖОХ, 1947, 17, 1468.
- И. И. Левков, Н. Н. Свешников и Э. Б. Лифшиц. ДАН СССР, 1950, 74, 275.

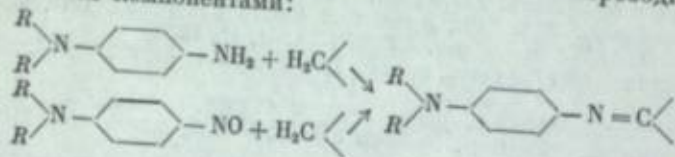


Г. И. АРБУЗОВ и Н. А. СОЛОВЬЕВА

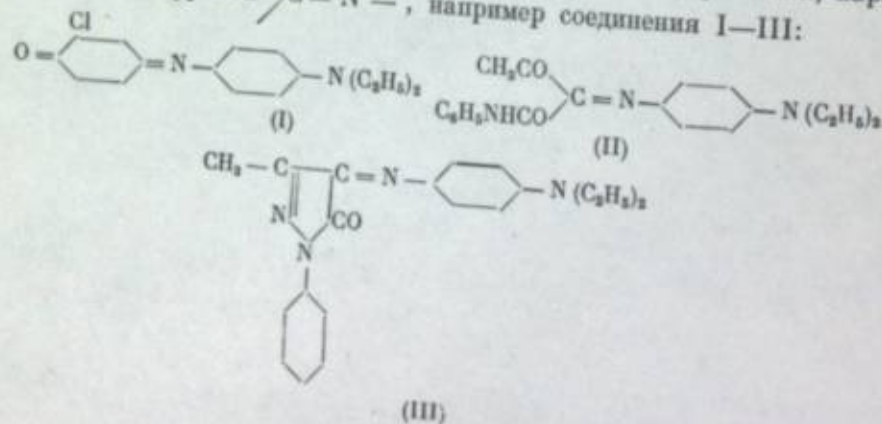
## НЕДИФФУНДИРУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ ТРЕХСЛОЙНЫХ КИНОФОТОМАТЕРИАЛОВ

Цветными компонентами многослойных цветных кинофотоматериалов называются такие вещества, которые с продуктами окисления проявляющего вещества образуют красители в количествах, пропорциональных количеству восстановленного металлического серебра. В качестве цветных проявляющих веществ обычно применяются производные *l*-фенилендиаминна, в особенности его *N*-диалкилзамещенные.

Впервые А. Е. Порай-Кошиц с сотрудниками [1] показал, что при окислении бромистым серебром смеси диалкил-*l*-фенилендиаминов с  $\alpha$ -нафтолом или с 1-фенил-3-метилпиразолоном (5) образуются те же красители, что и при конденсации соответствующих *l*-нитрозодиалкиланилинов с этими же компонентами:



Независимо от А. Е. Порай-Кошица, одним из авторов [2] в 1940 г. была доказана идентичность красителей, образующихся в эмульсионном слое при цветном проявлении и получающихся конденсацией тех же компонент, например 1-фенил-3-метилпиразолона с *l*-нитрозодиалкиланилинами. Таким образом, в настоящее время можно считать доказанным, что при цветном проявлении получают азометиновые красители, характеризующиеся группой  $\text{C}=\text{N}-$ , например соединения I—III:



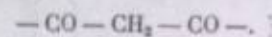
Как известно, существует два метода получения цветных изображений на многослойных кинофотоматериалах: с последовательным и с одновременным цветным проявлением. В первом случае компоненты вводятся в проявляющие растворы и, диффундируя в эмульсионный слой, образуют в нем красители. Во втором случае так называемые недиффундирующие компоненты содержатся в эмульсионных слоях. Второй из этих методов значительно более удобен и получил широкое практическое применение.

К недиффундирующим компонентам предъявляются сложные требования. Прежде всего, образующиеся из них при цветном проявлении красители должны по своим спектральным характеристикам удовлетворять требованиям трехцветного субтрактивного способа, т. е. максимально полно поглощать в одной трети и пропускать в двух третях видимого спектра.

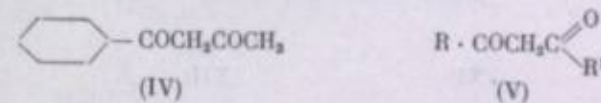
Цветное изображение, полученное посредством компонент, должно обладать достаточной стабильностью. Сами компоненты должны быть достаточно реакционноспособны, должны образовывать при цветном проявлении краситель с хорошим выходом. Компоненты должны быть устойчивы к диффузии, растворяться в водных растворах едкой щелочи и не выпадать в эмульсионных слоях. Компоненты не должны подавлять собственную и дополнительную светочувствительность эмульсии, вызывать образование вуали и снижать сохраняемость цветных материалов. Красители, образующиеся при цветном проявлении, не должны агрегироваться и кристаллизоваться в слое, так как это приводит к явлению светорассеяния.

Цветовой тон образующегося при цветном проявлении красителя определяется химической природой компоненты. Изменение строения проявляющих веществ оказывает сравнительно незначительное влияние.

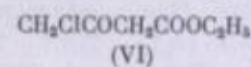
Для образования желтых красителей обычно применяются соединения, содержащие активную метиленовую группу в открытой цепи, связанную с двумя карбонильными группами [3]:



Таковыми соединениями являются  $\beta$ -дикетоны, как, например, бензонлацетон (IV) и различные производные ацилуксусных кислот (V):

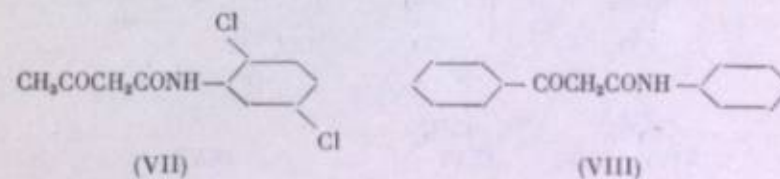


в частности, эфиры ацилуксусных кислот [например (VI)]



и анилиды; последние имеют наиболее важное значение.

В качестве примеров подобных анилидов можно привести соединения (VII) и (VIII)

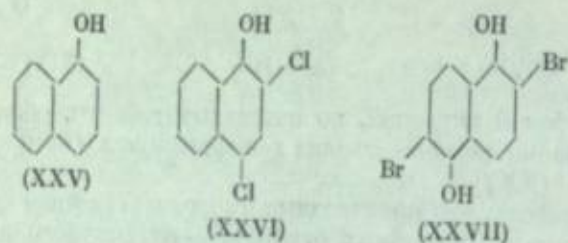




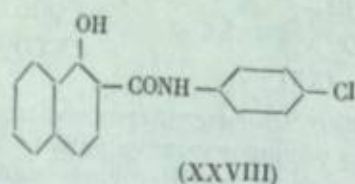




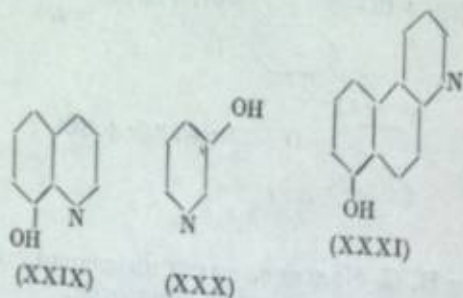
Большое значение имеют оксипроизводные нафталинового ряда: сам  $\alpha$ -нафтол (XXV), 2,4-дихлор-1-нафтол (XXVI), 2,6-дибром-1,5-диоксинафталин (XXVII):



и различные производные 1-окси-2-нафтойной кислоты, в особенности ее амиды, например (XXVIII):

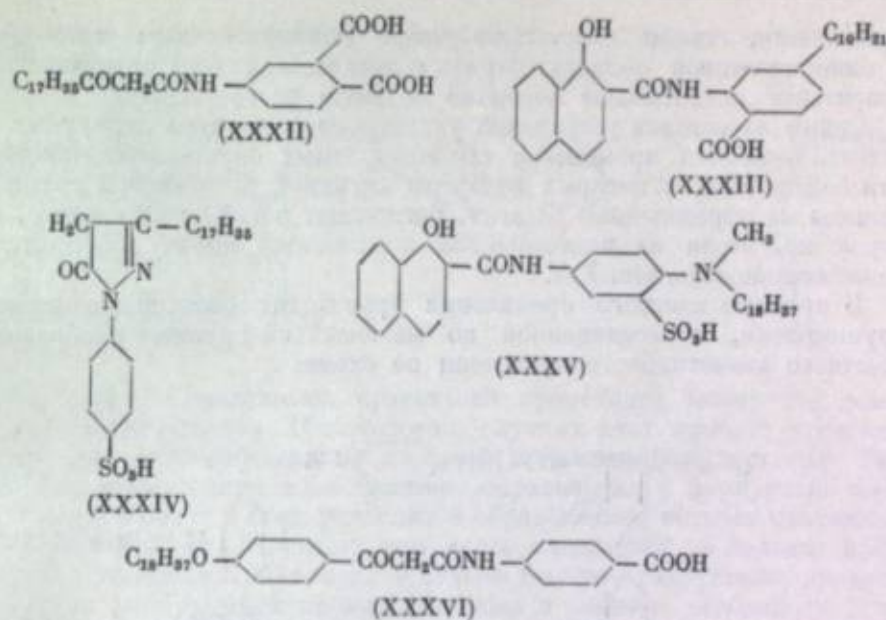


Голубые красители образуют при цветном проявлении также некоторые оксипроизводные гетероциклических соединений. К ним относятся, например, 8-оксихинолин (XXIX), 3-оксипиридин (XXX) и оксиазафентрен (XXXI):

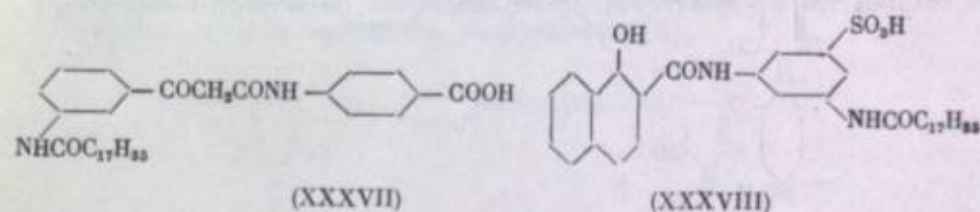


Все приведенные соединения являются диффундирующими компонентами. Недиффундирующие компоненты относятся к тем же классам соединений. Наибольшее значение имеют амиды ацилуксусных кислот (желтые), производные пиразолона (пурпурные) и замещенные амиды 1-окси-2-нафтойной кислоты (голубые компоненты).

Устойчивость компонент к диффузии в желатиновых слоях может достигаться путем введения в их молекулы алифатических остатков с числом углеродных атомов не менее пяти (обычно 12—18). Эти остатки могут вводиться непосредственно в углеводородную цепь (XXXII), в ароматическое (XXXIII) или гетероциклическое ядро (XXXIV), а также в аминоксигруппу (XXXV) или алкоксигруппу (XXXVI):



Вводятся также остатки высших алифатических кислот, которыми обычно ацилируют аминоксигруппы (XXXVII, XXXVIII):



Устойчивость к диффузии может быть достигнута введением в молекулу компоненты остатков различных высокомолекулярных соединений — полипептидов, белков, стероидов, желчных кислот, углеводов, природных смол и т. п.

Введение высокомолекулярных остатков почти не отражается на окраске образующихся при цветном проявлении красителей, но значительно снижает растворимость самих компонент. Для того чтобы обеспечить достаточную растворимость и предотвратить выпадение компонент в эмульсионных слоях, в молекулы компонент вводят карбоксильные группы или сульфогруппы.

Получение недиффундирующих компонент, удовлетворяющих всем предъявляемым к ним требованиям, представляет весьма сложную проблему. Из огромного количества веществ, предложенных для этого за последние 15 лет, ни одно полностью не удовлетворяет всем указанным выше требованиям. Лишь немногие типы компонент могут находить практическое применение.

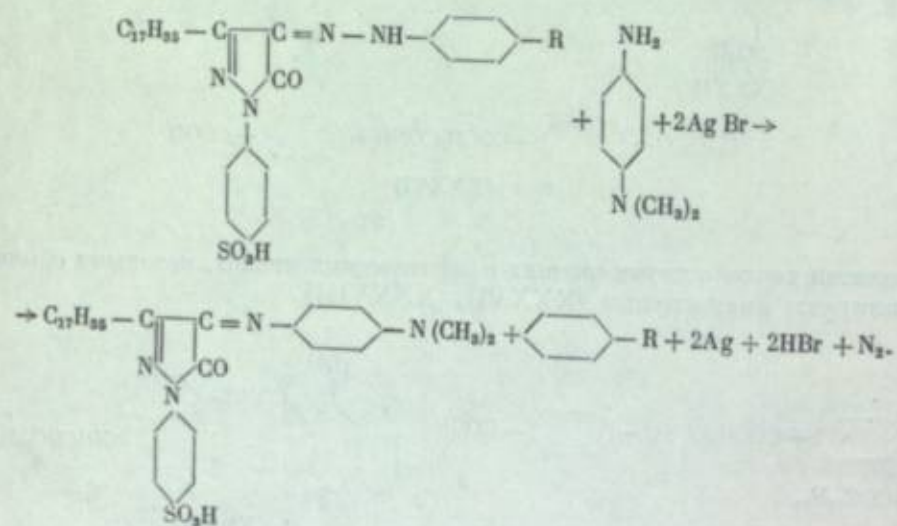
Основным недостатком спектральных характеристик пурпурных красителей, образующихся из производных пиразолона, является дополнительная полоса поглощения в синеволетовой области спектра с максимумом 430—450 м $\mu$ . Голубые красители, образующиеся при цветном



проявлении, также характеризуются дополнительным поглощением в синеволетовой области. Кривые поглощения большинства желтых красителей захватывают частично зеленую часть спектра.

Одним из методов устранения указанного недостатка пурпурных красителей является применение так называемых окрашенных компонент. Эти соединения, в которых водороды активной метиленовой группы замещены на определенные остатки, поглощают в той части спектра, в которой красители из незамещенной компоненты имеют дополнительное нежелательное поглощение.

В процессе цветного проявления происходит отщепление введенной группировки, присоединенной по метиленовой группе, и образование обычного азометинового красителя по схеме:

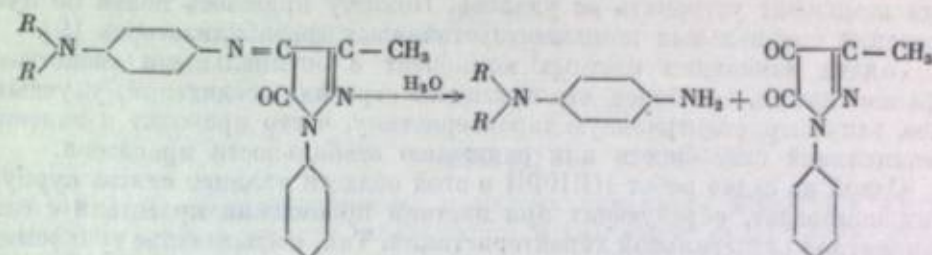


Цветное проявление и образование азометинового красителя происходит в первую очередь в местах действия света, в то время как на незасвеченных местах остается окрашенная в желтый цвет компонента. Таким образом, в тех местах, где компонента оказалась неизрасходованной, появляется желтое окрашивание, аналогичное по кривой поглощения дополнительному поглощению пурпурного красителя. В результате этого негативное изображение оказывается равномерно покрытым как бы желтым фильтром, что дает возможность при печати на позитивный материал получить путем применения соответствующих компенсационных фильтров более правильную цветопередачу.

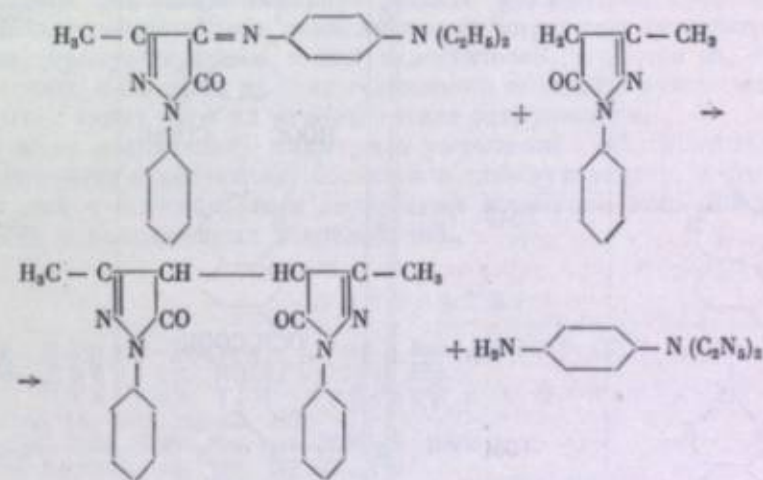
Необходимо отметить, что при цветном проявлении, особенно при неправильном его проведении, могут протекать побочные процессы с образованием новых окрашенных веществ, которые могут значительно ухудшать цветопередачу. Кроме того, как было показано одним из нас [2], при неправильной обработке образовавшиеся красители могут иногда переходить в высокоагрегированное состояние с очень размытой кривой поглощения.

Все азометиновые красители являются довольно малоустойчивыми соединениями. Они быстро выцветают при освещении в результате окислительных процессов. При действии кислот они также легко разрушаются,

причем происходит гидролиз с отщеплением производного *n*-фенилендиамина:



Разложение азометиновых красителей происходит также под влиянием щелочных агентов. В некоторых случаях этот процесс протекает при действии даже углекислых щелочей проявляющего раствора. Так, азометины, производные изоксазолона, окрашенные в пурпурный цвет, быстро разрушаются в этих условиях с образованием желтых красителей неизвестного строения. Поэтому этот класс соединений не находит практического применения. Наконец, довольно быстрое разрушение красителей цветных изображений происходит даже в темноте, особенно в условиях повышенной температуры и влажности. Наименее устойчивы в этих условиях голубые красители из производных  $\alpha$ -оксинафтойной кислоты. При этом протекают окислительные и окислительно-восстановительные процессы, которые еще очень мало изучены. Азометиновые красители, производные пиразолона, например, могут реагировать с исходными пиразолонами, причем краситель разрушается [8]:



Реакционная способность компонент может значительно изменяться даже в пределах одного и того же класса соединений. Так, 1-фенил-3-алкил-пиразолоны, содержащие заместители в ортоположении фенильного остатка, с трудом образуют красители.

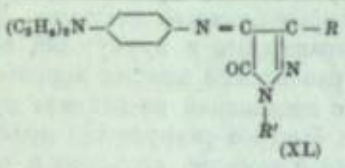
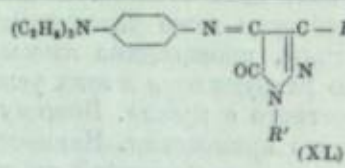

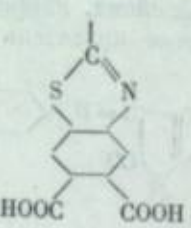
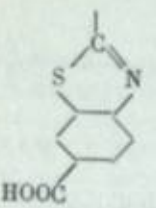
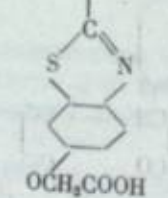
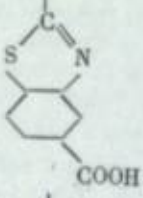
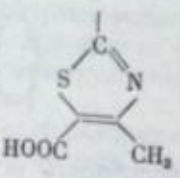
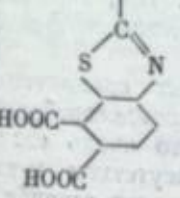
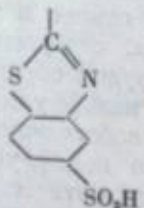
Большинство недиффундирующих цветных компонент сравнительно мало влияет на собственную светочувствительность галогеносеребряных эмульсий. Однако недиффундирующие компоненты часто очень сильно нарушают процесс оптической сенсibilизации. В присутствии недиффундирующих голубых компонент большинство обычных сенсibilизи-



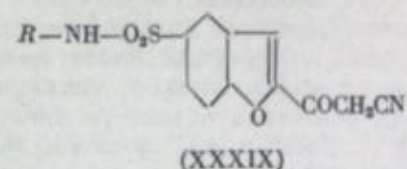
затворов почти полностью теряет способность очувствлять галонидное серебро к длинноволновой части спектра. Этот недостаток путем изменения строения компонент устранить не удалось. Поэтому пришлось пойти по пути создания специальных компонентоустойчивых сенсibilизаторов [9].

Задача изыскания цветных компонент с оптимальными свойствами крайне сложна, тем более что изменение строения соединений, улучшающее, например, спектральную характеристику, часто приводит к падению реакционной способности или снижению стабильности красителя.

Одной из задач работ НИКФИ в этой области являлся синтез пурпурных компонент, образующих при цветном проявлении красители с благоприятной спектральной характеристикой. Так, исследование сульфамид-

№ по пор.	№ по пор.		№ по пор.	№ по пор.	
	R'	Максимум поглощения в спиртовом растворе, мμ		R'	Максимум поглощения в спиртовом растворе, мμ
	 (XL) (R — алкил)		 (XL) (R — алкил)		
1		525	5		555
2		549	6		547
3		554	7		546
4		550	8		542

ных производных 2-цианацетилкумарона, содержащих остатки, препятствующие диффузии, общей формулы (XXXIX)



показало, что образующиеся из подобных компонент красители имеют достаточно узкую полосу поглощения и максимум поглощения около 530 мμ. Однако эти компоненты недостаточно реакционноспособны. Кроме того, в процессе обработки они окисляются с образованием соединений, окрашенных в желтый цвет.

Как уже указывалось выше, пурпурные компоненты пиразолонового ряда образуют при цветном проявлении красители с дополнительной полосой поглощения в синефиолетовой области. Эти компоненты весьма реакционноспособны, мало влияют на процесс сенсibilизации и образуют красители, сравнительно устойчивые при хранении изображений.

Работами, проведенными в НИКФИ, установлено, что у азометиновых красителей из производных пиразолона, содержащих в положении (1) гетероциклический остаток, дополнительная полоса поглощения выражена в меньшей степени по сравнению с соответствующими арилпроизводными. В табл. 1 приведены максимумы поглощения азометиновых красителей из подобных компонент (XL).

Компоненты этого типа достаточно реакционноспособны и полученные из них красители отличаются большой стойкостью. Однако, как видно из таблицы, положение основной полосы поглощения красителей может значительно изменяться в зависимости от характера гетероциклического остатка, присутствующих в нем заместителей, а также их положения. Кроме того, некоторые из этих соединений обладают очень малой растворимостью, ввиду чего их использование затрудняется.

Из всего изложенного видно, что улучшение свойств недиффундирующих компонент представляет большую и сложную задачу, и что получение соединений с оптимальными свойствами возможно лишь при проведении широких и всесторонних исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Порай-Кошиц (с сотр.), Изв. АН СССР, ОХН, 3, 1945, 261.
2. Г. И. Арбузов, ЖПХ, 23, 1950, 886.
3. В. С. Чельцов, Г. И. Арбузов и А. Н. Иорданский. Успехи химии, 14, 1945, вып. 5, 349.
4. Du Pont Film. Corp., ам. пат. 2200924, 1940.
5. Iford Limited, ам. пат. 2427911, 1947.
6. General Aniline and Film. Corp., ам. пат. 2421693, 1947.
7. Imperial Chemical Industries Limited, ам. пат. 2396396, 1946.
8. P. Vittum, F. Duennebier. J. Am. Chem. Soc., 1950, 72, 1536.
9. И. И. Левков, З. П. Сытник и С. В. Натансон. Настоящий сборник, стр. 11.



К. С. ЛЯЛИКОВ, Б. А. ЦАРЕВ, Я. Л. ЛЕЙБОВ,  
В. Н. КУРНАКОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

Несмотря на большую важность для техники, реакция цветного проявления изучена еще далеко не достаточно. Ввиду сложности реакции, мы проводили работу в различных направлениях. До настоящего времени выполнены следующие исследования:

- 1) определены нормальные потенциалы цветных проявляющих веществ в обычных практических условиях работы проявителя;
- 2) установлен состав первичного продукта окисления диэтил-*л*-фенилендиамина и сформулированы положения о схеме реакции цветного проявления;
- 3) изучено влияние концентраций составных частей цветного проявителя на процесс проявления и на окисление его кислородом воздуха;
- 4) изучена роль pH в процессе цветного проявления.

1. Значение восстановительного потенциала в процессе проявления не может до настоящего времени считаться окончательно выясненным, в особенности в отношении влияния его на кинетику процесса. Вместе с тем для реакции цветного проявления знание окислительно-восстановительных потенциалов всех систем, принимающих участие в реакции, особенно важно, так как в этом случае мы часто не знаем даже, какую роль играет то или другое вещество — роль восстановителя или же окислителя.

Решение этого вопроса возможно только при помощи изучения окислительно-восстановительных потенциалов всех систем, присутствующих при реакции. Эти исследования и были начаты с определения нормальных потенциалов цветных проявляющих веществ. Ввиду нестабильности систем, образуемых цветными проявляющими веществами при высоких pH, для определения потенциалов был избран метод струй. При низких значениях pH можно было применять и метод прерывистого титрования.

При значениях pH, соответствующих нормальным концентрациям поташа в цветных проявителях, были определены следующие нормальные потенциалы: для диэтил-*л*-фенилендиамина — 109,6 мв и этилоксиэтил-*л*-фенилендиамина — 58,6 мв.

2. Знание природы первичного продукта реакции цветного проявления важно для понимания всего механизма реакции. Исследования, выполненные главным образом советскими учеными, дали важные сведения о суммарной реакции. Так, работами А. Е. Порай-Кошица [1] и М. И. Крыловой [2] установлено, что красители, получающиеся при реакции в светочувствительном слое, идентичны с соответствующими краси-

телями, получаемыми путем окислительной конденсации в стекле. Фленнери и Коллинз [3] и В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенникова, и С. А. Бонгард [4] показали, что образование красителя происходит с удивительно большим выходом, практически равным 100%.

Между тем первоначально выдвинутое Теллом предположение об одновременности протекания реакции окисления проявляющего вещества и конденсации продуктов окисления с цветной компонентой было опровергнуто позднейшими работами. Так, в работе А. Бромберга и Ю. Вилеского [5] было показано, что продукт окисления может диффундировать на расстоянии до 10—12 м от поверхности бромистого серебра, на которой происходит окисление цветного проявляющего вещества.

Относительно природы первичного продукта реакции в литературе имеются различные указания: К. Л. Мертц [6] называет в качестве такового паранитрозодиэтиланилин, К. Миз [7] — семихинон. Ни одно из этих предположений не подкрепляется экспериментальными данными. Нами была предпринята попытка установить природу первичного продукта, используя то обстоятельство, что и нитрозосоединения и семихинон обладают весьма характерными спектрами поглощения.

Необходимо было поставить опыт таким образом, чтобы можно было уловить первичный продукт даже в том случае, если он существует непродолжительное время.

Для этого нами был использован метод струй в следующем видоизменении. Стеклянную трубку диаметром 1 см в одном месте разрезали, и торцы ее отшлифовывали; в разрезе в трубку вставляли шелковую сетку, после чего концы соединяли встык при помощи каучуковой трубки. В верхний отрезок над сеткой помещали галоидное серебро в виде порошка, подвергнутого предварительно незначительному спеканию. В трубке галоидное серебро промывали дистиллированной водой, для того чтобы отмыть все мелкие частицы соли, способные пройти через шелковую сетку. Затем через трубку пропускали щелочной раствор диэтил-*л*-фенилендиамина. При этом в протекающем растворе ниже слоя галоидного серебра наблюдалось довольно яркое алое окрашивание, характерное для иона семихинона.

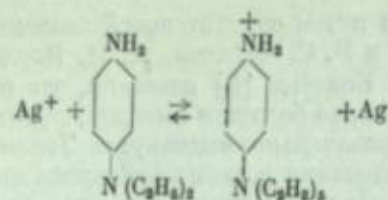
Установлено, что кривая, характеризующая спектр поглощения семихинона, полученного обычным методом, — окислением диэтил-*л*-фенилендиамина бромом в уксуснокислом растворе, практически совпадает с кривой спектра поглощения в струе проявителя при окислении его хлористым серебром. При окислении проявителя бромистым серебром кривая поглощения несколько деформирована вследствие малой концентрации семихинона и присутствия темноокрашенных продуктов полимеризации.

Тем не менее и на последней кривой ясно видны характерные полосы поглощения семихинона. Таким образом, можно считать установленным, что в процессе проявления диэтил-*л*-фенилендиамин в качестве первичного продукта окисления образуется семихинон.

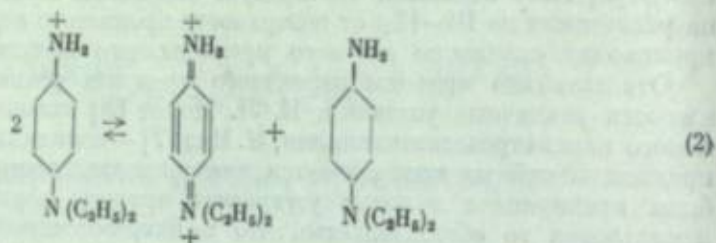
Окрашивание, вызванное семихиноном, по мере удаления от слоя галоидного серебра ослабевает и на расстоянии около 2—5 см совершенно исчезает. Если в зону окрашенного раствора впускать через боковую трубочку раствор  $\alpha$ -нафтол-сульфонокислоты, то алая окраска заменяется голубой, что указывает на сочетание продукта реакции с цветной компонентой. Если раствор компоненты вводить в струю в том месте, где окраска исчезает, то никакого изменения цвета не наблюдается.

Таким образом, можно считать установленным, что первая стадия реакции цветного проявления выражается уравнением:

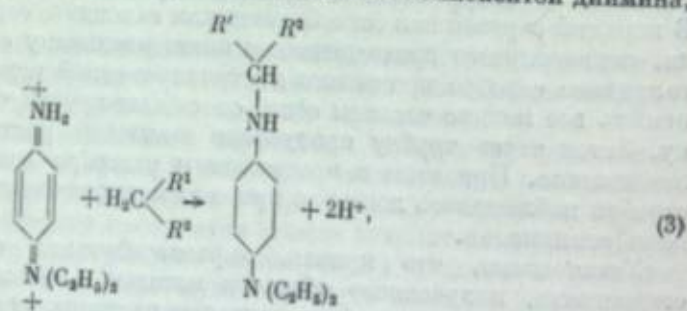




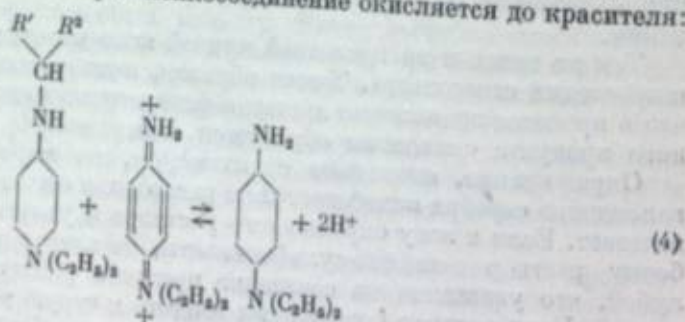
Несомненно, что ион семихинона, как и все подобные соединения, образует обратимую равновесную систему:



Однако едва ли можно допустить, что первичным продуктом реакции является ион димина, так как все изученные до сих пор реакции окисления диаминов и дифенолов всегда протекают в две стадии, причем в первой образуется промежуточный продукт, потерявший лишь один электрон. Тем не менее реакция (2) может играть существенную роль в дальнейшем протекании процесса цветного проявления. Она позволяет, например, в следующей стадии рассматривать сочетание с компонентой димина,



а не иона семихинона, так как в последней, повидимому, должен принимать участие акцептор водорода, и поэтому ее следует считать маловероятной, как всякую реакцию третьего порядка. За этой реакцией должна следовать последняя, в которой лейкосоединение окисляется до красителя:



Образующийся при реакции (2) димин может стабилизировать продукт окисления, если считать, что ион семихинона менее стабилен, чем димин.

Он может также выполнять роль окислителя лейкосоединения в последней стадии реакции, в которой образуется краситель.

Предположение о том, что окислителем является именно димин, кажется нам наиболее правдоподобным. Участие в реакции кислорода воздуха следует считать совершенно неправдоподобным. Если предположить, что окислителем является ион серебра, как это допускает К. Миз, то наблюдалось бы отложение серебра везде, где образуется краситель при цветном проявлении. Этого на самом деле не наблюдается.

Схему реакции цветного проявления надо рассматривать с учетом следующих положений:

- 1) первичная стадия должна сопровождаться только переходом одного электрона от серебра к молекуле проявляющего вещества;
- 2) все реакции должны быть бимолекулярными;
- 3) окислитель должен образовываться в процессе реакции, а не при последующем окислении кислородом воздуха, так как иначе не был бы обеспечен столь высокий выход красителя.

Указанная выше схема всем названным условиям удовлетворяет. Поэтому в дальнейших исследованиях мы принимали ее в качестве рабочей схемы.

В связи с установлением первичного продукта реакции нами были предприняты опыты по определению стабильности семихинона в различных условиях. Было найдено, что при pH ниже 6,45 семихинон не полимеризуется; выше 8,0 образуются нерастворимые продукты полимеризации; между 6,45 и 8,0 семихинон претерпевает изменения, связанные с изменениями его спектра поглощения, но не вызывающие образования нерастворимых веществ. Возможно, что изменение окраски связано с образованием димера.

3. Влияние концентраций составных частей исследовали при окислении цветного проявителя как кислородом воздуха, так и бромистым серебром.

В первом случае равномерную струю воздуха пропускали через изучаемый раствор, во втором случае в изучаемом растворе проявляли цветную пленку, с компонентой красителя в слое или черно-белую. Через определенные промежутки времени растворы анализировали. Таким образом были получены кривые кинетики изменения концентраций составных частей цветного проявителя по мере его окисления.

Было установлено, что при окислении щелочных растворов сульфита и гидросиламина кислородом воздуха наблюдается в большом интервале концентраций линейная зависимость концентрации от времени. Скорость окисления почти не зависит от концентрации окисляющегося вещества.

Характер окисления щелочных растворов диэтил-*л*-фенилендиамина более сложен. С увеличением концентрации поташа от 0,05 до 1,0 моля на литр раствора скорость окисления диэтил-*л*-фенилендиамина увеличивается приблизительно в 3 раза. При этом характер окисления не изменяется. Независимо от концентрации поташа, наблюдается автокаталитический процесс окисления, но с различными константами скорости реакции, колеблющимися от  $2 \cdot 10^6$  до  $7 \cdot 10^6$ . Скорость окисления диэтил-*л*-фенилендиамина зависит от pH среды. В кислых растворах, при pH = 4, окисление проходит чрезвычайно медленно.

Михаэлис [8] нашел, что такие кислые растворы при потенциометрическом титровании окислителем дают кривую титрования с отчетливым скачком для первой ступени окисления, т. е. при потере диамином одного электрона. Образование голохиноидной формы начинается не раньше, чем бензидная форма практически целиком, приблизительно на 90—95%, окислится до семихинона.



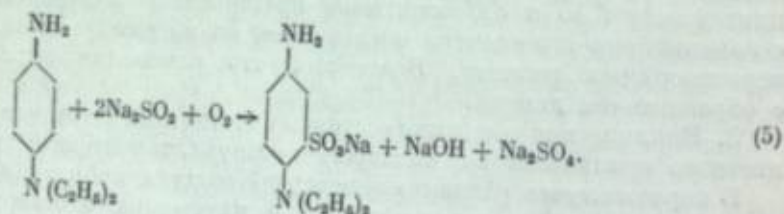
Окисление смесей сульфита и диэтил-*л*-фенилендиамина проходит по сопряженной реакции, со значительным замедлением скорости окисления составных частей. Кривые, характеризующие кинетику окисления диэтил-*л*-фенилендиамина в присутствии сульфита, имеют участки более или менее значительной начальной скорости и прямолинейные участки постоянных скоростей.

У системы сульфит — гидроксилламин сопряженная реакция окисления не наблюдается. Скорости окисления остаются такими же, какими они были для отдельно взятого одного вещества.

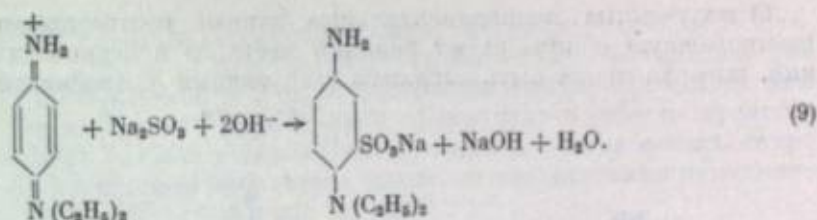
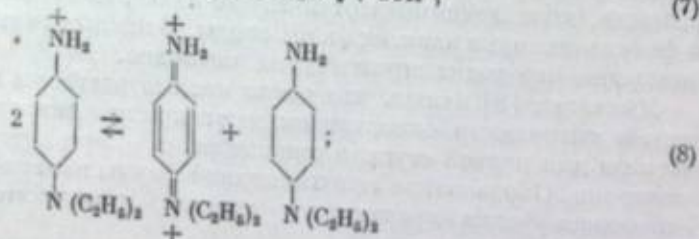
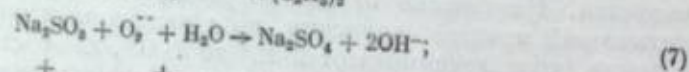
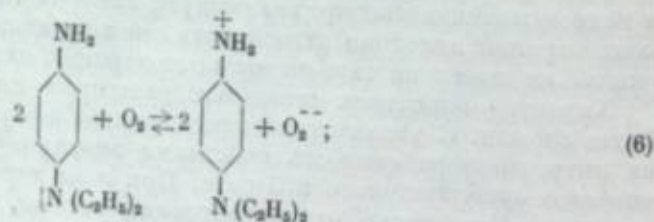
В системе диэтил-*л*-фенилендиамина — гидроксилламин первый начинает окисляться только тогда, когда почти полностью окислится гидроксилламин. В этой системе гидроксилламин является антиоксидантом для диэтил-*л*-фенилендиамина.

Окисление тройной системы: сульфит — гидроксилламин — диэтил-*л*-фенилендиамина начинается с окисления сульфита и гидроксилламина и затем, после окисления всего гидроксилламина, начинает окисляться диэтил-*л*-фенилендиамина с сульфитом по сопряженной реакции. Независимо от концентрации сульфита в растворе диэтил-*л*-фенилендиамина окисляется с сульфитом в постоянном соотношении: на каждый моль окислившегося диэтил-*л*-фенилендиамина, окисляется 2 моля сульфита.

Полученные экспериментальные данные подтверждают ранее существовавшую общую схему сопряженного окисления системы диэтил-*л*-фенилендиамина — сульфит кислородом воздуха.



В условиях наших исследований реакция далее образования моносульфоната диэтил-*л*-фенилендиамина, по видимому, не идет. Предполагается, что моносульфонат диэтил-*л*-фенилендиамина образуется из семихинона и сульфита по уравнениям:



Эта реакция может быть использована для аналитического определения диэтил-*л*-фенилендиамина, где семихинон может служить окислительно-восстановительным индикатором. В качестве окислителя могут быть использованы двуххромовокислый калий, железосинеродистый калий и др.

При изучении окисления составных частей цветного проявителя бромистым серебром была выбрана следующая методика работы. Составные части цветного проявляющего раствора окисляли бромистым серебром, находящимся в киноплёнке. В исследуемых проявителях параллельно проявляли цветную позитивную плёнку и черно-белую — дубльфильм.

Проявители и пленки предварительно анализировали. В пленке определяли металлическое серебро, растворимые и вымываемые в щелочи галогениды, способность эмульсионного слоя связывать щелочь при определенных pH. После проявления экспонированных пленок анализировали составные части раствора и металлическое серебро в пленке.

Полученные результаты позволили установить стехиометрические отношения реагирующих веществ при цветном и черно-белом процессах проявления:

1) окисление диэтил-*л*-фенилендиамина бромистым серебром в присутствии цветной компоненты практически проходит без участия в этой реакции сульфита. Однако при относительно высоких концентрациях сульфита (свыше 30 г/л) наблюдается некоторый расход его, не превышающий 1 моля на 7,5 молей диэтил-*л*-фенилендиамина;

2) при отсутствии цветной компоненты в реакции окисления диэтил-*л*-фенилендиамина бромистым серебром сульфит принимает участие. Независимо от концентрации сульфита диэтил-*л*-фенилендиамина окисляется с сульфитом в постоянном соотношении: на каждый моль окислившегося диэтил-*л*-фенилендиамина окисляется 1 моль сульфита;

3) количество восстановленного серебра в пленке находится в определенном соотношении с окислившимся диэтил-*л*-фенилендиаминном. В присутствии цветообразующей компоненты 1 моль диэтил-*л*-фенилендиамина восстанавливает 3,6 моля серебра;

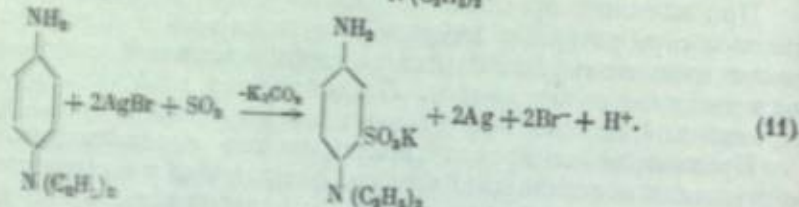
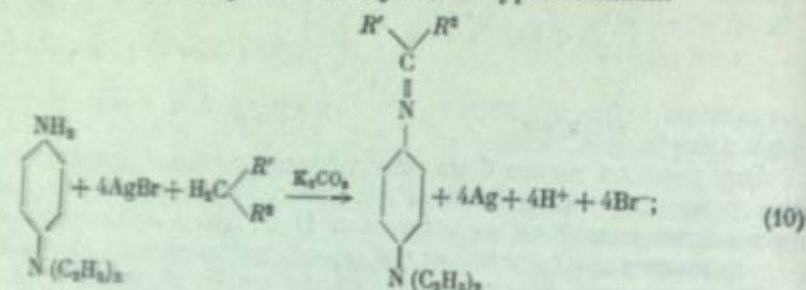
Без цветной компоненты 1 моль диэтил-*л*-фенилендиамина восстанавливает 2 моля серебра;

4) по количеству израсходованной щелочи можно определить количество бромистоводородной кислоты, образующейся в результате реакции окисления. Установлено, что на каждый моль окислившегося диэтил-*л*-фенилендиамина в присутствии цветной компоненты приходится около четырех атомов серебра и около 4 молей карбоната калия, что соответствует четырем ионам водорода. Без участия цветной компоненты на каждый моль окислившегося диэтил-*л*-фенилендиамина приходится два атома серебра и 1 моль карбоната калия, что соответствует двум водородным ионам, так как один из них нейтрализуется образующейся при сульфировании щелочью;

5) гидроксилламин, присутствующий в цветном проявителе, восстанавливает до 10—15% серебра в цветной пленке и около 20—30% в черно-белой пленке;



б) полученные экспериментальные данные подтверждают ранее существовавшую общую схему реакций цветного и черно-белого проявлений, которая может быть выражена следующими уравнениями:



Нами было изучено также влияние концентрации составных частей проявляющего раствора на образование цветного и соответственно серебряного изображения.

Сенситометрическому анализу подвергались однослойные поливы и многослойные позитивные и негативные пленки. В настоящем сообщении приводятся результаты, полученные для однослойных поливов, однако найденные закономерности распространяются и на многослойные позитивные и негативные пленки.

При проявлении цветной пленки сульфит не принимает участия в реакции, если он не присутствует в слишком больших количествах, более 30 г/л; когда он начинает снижать цветные плотности. Наибольшее снижение цветных плотностей обнаруживается у пурпурного красителя. Серебряные плотности при этом остаются без изменения до концентрации сульфита 150 г/л. При более высоких концентрациях сульфита наблюдается явная растворимость диметил-*л*-фенилендиамина.

Гидроксилиани вызывает некоторое снижение цветных плотностей, действуя как черно-белое проявляющее вещество, конкурирующее с цветом. Дальнейшее увеличение его концентрации с 1 до 5 г/л вызывает очень небольшое падение цветных плотностей. Интересно отметить, что при этом серебряные плотности и коэффициенты контрастности остаются почти неизменными.

При увеличении концентрации диметил-*л*-фенилендиамина получаемые цветные плотности растут до некоторой концентрации (10 миллимолей на литр) почти линейно, затем рост плотностей замедляется. Коэффициенты контрастности изменяются значительно медленнее и часто проходят через максимум, что связано, по-видимому, с ростом вуали.

Чрезвычайно сильное влияние на цветные плотности и коэффициенты контрастности оказывает бромистый калий. При этом плотности снижаются очень медленно. Коэффициенты контрастности при небольшой концентрации бромистого калия возрастают вследствие уменьшения вуали, а затем начинают падать из-за падения плотностей.

Если цветную пленку предварительно проявить в обычном метолло-гидроксиановом проявителе, а затем проявить в цветном, то будет наблю-

даться повышение сопротивляемости бромиду и значительный рост цветных плотностей. При этом чувствительность негативных материалов увеличивается приблизительно в 2 раза без повышения коэффициента контрастности. Совместить эти две операции проявления в одну не представляется возможным, так как уже незначительные количества метола, гидрохинона, амидола в цветном проявителе вызывают значительные нарушения цветового баланса обрабатываемой пленки.

4. Подробно был изучен нами вопрос о роли активной щелочности в процессе цветного проявления. Цветное проявление складывается из одновременно идущих процессов — восстановления затронутых светом зерен галоидного серебра до металлического, окисления проявляющего вещества и сочетания этого продукта окисления проявляющего вещества с цветной компонентой. Как известно, щелочность проявителя сильно влияет на протекание первых двух процессов. Можно предположить, что этот же фактор имеет значение и в процессе сочетания. Это вытекает хотя бы из того, что щелочность среды оказывает сильное влияние на продолжительность существования первичного продукта окисления проявляющего вещества, а это, несомненно, должно сказаться на выходе красителей.

Кроме теоретического интереса, изучение этого вопроса имеет и практическое значение; представляется чрезвычайно заманчивым изучить возможность замены в проявителе поташа содой, так как недостаточная чистота поташа часто вызывает брак при обработке.

Активная щелочность (рН) определялась стеклянным электродом с применением лампового усилителя. Чтобы иметь возможность количественно оценивать изменения в образовании красителей, нами было экспериментально установлено, что качественно красители не изменяются в зависимости от щелочности проявителя. Это было сделано путем исследования спектров поглощения данных красителей, причем было найдено, что форма кривой поглощения не изменяется в пределах изученных значений рН.

Образование красителей в слое можно изучать двумя способами: 1) количественно определять образовавшийся краситель, что, безусловно, является наиболее правильным, и 2) определять оптическую плотность, создаваемую данным красителем; это возможно делать благодаря тому, что красители многослойной пленки подчиняются закону Бэра.

Мы избрали второй способ, как наиболее доступный. Ввиду того, что в настоящее время, еще не имеется общепринятой системы сенситометрии цветофотографических материалов, нами был сконструирован денситометр, имеющий ряд преимуществ перед существующими. В этом денситометре (рис. 1) осветителем является монохроматор, а измерения производятся при помощи фотоэлемента с усилителем.

При изучении влияния щелочности на процесс цветного проявления вопрос о том, каким образом следует создавать необходимую щелочность, довольно существенен. Дело в том, что набухаемость желатинной, а следовательно, и диффузия проявителя в сильной степени зависят не только от рН системы, но и от солевой концентрации. Поэтому нами были проверены оба способа создания определенного значения рН — с изменением солевой концентрации и без изменения ее.

В первом случае щелочность варьировали введением различных количеств поташа и соды, во втором — изменением соотношения  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaOH}$  или  $\text{KOH}$ . При этом буферную емкость проявителей поддерживали приблизительно постоянной.

В первом случае готовили семь проявителей с различными количествами щелочи — от 0,5 до 2,0 г-экв. на 1 л, при постоянной концен-



трации всех других составных частей; рН проявителя изменялось при этом приблизительно на две единицы.

В качестве светочувствительных материалов применяли однослойную и многослойную пленки. Засвеченные на сенситометре ГОИ сенситограммы проявляли в приготовленных растворах; режим обработки для много-

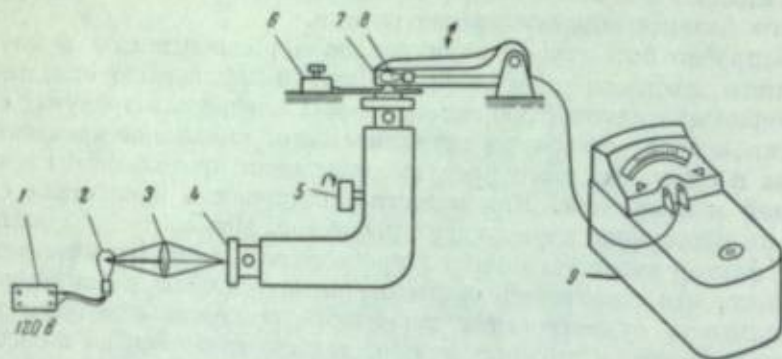


Рис. 1. Схема монохроматического денситометра.

1 — стабилизатор напряжения; 2 — лампа накаливания 12 в, 30 в; 3 — конденсорная линза; 4 — входная щель монохроматора; 5 — барабан установки длины волны; 6 — координатный стол; 7 — измерительная педаль; 8 — фотоэлемент; 9 — денситометр.

слойной пленки был обычный, а для однослойной — несколько измененный; плотности полей сенситограмм промеряли на монохроматическом денситометре.

Во втором случае, для того чтобы по возможности исключить ошибку вследствие изменения буферной емкости проявителя, взяли проявитель,

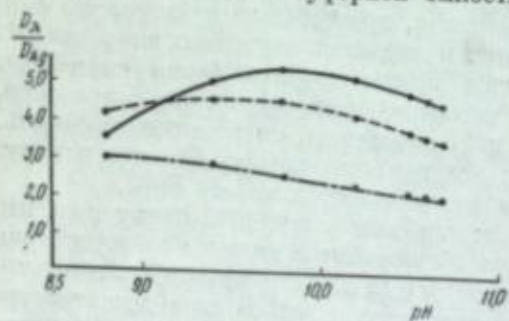


Рис. 2. Выход красителя в зависимости от pH проявителя.

— голубой слой; — фиолетовый слой; — желтый слой.

содержащий 30 г/л карбоната с добавлением определенного количества NaOH или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, чем достигались определенные значения pH. Остальные условия были те же, что и в предыдущем опыте. Были получены следующие результаты:

1. Для случая с изменением солевой концентрации коэффициент контрастности цветных характеристических кривых для всех трех слоев, с увеличением щелочности проявителя, возрастает, про-
2. Наиболее чувствителен к изменению щелочности проявителей желтый слой, наименее чувствителен — голубой.
3. Каждый из слоев характеризуется собственной кривой проявления, причем необходимый баланс достигается лишь при определенном значении pH.
4. Для случая изменения pH проявителя без изменения солевой концентрации наблюдается линейная зависимость между плотностью и pH раствора, и коэффициентом контрастности и pH раствора.
5. На основании обоих опытов можно сделать заключение о возможности замены в цветном проявителе поташа содой, поскольку наблюдалось достаточно полное совпадение сенситометрических характе-

ристик, полученных в растворах с поташом и содой при условии одинаковых значений pH растворов.

Для изучения связи между процессом восстановления галогенного серебра и процессом образования красителей был проделан опыт, аналогичный предыдущим, но с той разницей, что металлическое серебро оставалось в слое. После измерения суммарной оптической плотности красителя и серебра последнее удалялось отбеливанием, и оптические плотности вновь измеряли. Таким образом для каждого слоя была получена плотность, создаваемая красителем, и плотность, создаваемая металлическим серебром. Полученные данные позволили сделать вывод о том, что имеется пропорциональность между количеством образовавшегося красителя и серебра.

Интересно было выяснить, зависит ли выход красителя от щелочности проявителя. Выход красителя мы определяли отношением  $\frac{D_{\lambda}}{D_{Ag}}$  для прямолинейного участка кривой ( $D_{\lambda}, D_{Ag}$ ).

Рассмотрение кривой зависимости выхода красителей от pH растворов проявителей (рис. 2) позволяет сделать вывод, что с увеличением щелочности проявителя выход красителя уменьшается.

Чтобы достаточно полно обосновать рекомендуемое количество щелочи в проявителе, необходимо учесть еще один фактор, имеющий большое значение в практике, а именно буферную емкость проявителя. Как известно, необходимость иметь большую буферную емкость является главной причиной отказа от применения едких щелочей.

Особенно важное значение приобретает буферная емкость проявителя при обработке многослойных материалов. Мало забуференный проявитель по мере диффузии в слой будет быстро терять свои фотографические свойства, что неминуемо поведет к нарушению цветового баланса.

Ввиду того что буферная емкость в цветном проявителе создается несколькими буферными системами [карбонат — бикарбонат, сульфит — бисульфит, проявляющее вещество (основание) — проявляющее вещество (соль)], мы выбрали экспериментальный способ определения буферной емкости. Буферная емкость определялась тем количеством сильной кислоты, которое нужно добавить к 1 л проявителя, чтобы снизить его pH на единицу.

Чтобы определить необходимую буферную емкость, которую должен иметь проявитель, мы провели следующий опыт: готовили ряд проявителей, имеющих одинаковое значение pH, но разную буферную емкость, и в них проявляли сенситограммы. То значение буферной емкости проявителя, которое обеспечивало постоянство фотографических свойств обрабатываемых сенситограмм, принималось нами за достаточное значение. По кривой титрования ряда проявителей, имеющих различную щелочность, было определено, что проявитель, содержащий 30 г соды в 1 л, обеспечивает достаточную буферную емкость.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Порчай-Косиц. Изв. АН СССР, ОХН, 3, 1945, 24.
2. М. И. Крылова. Тр. ЛХТИ, 1941, VI, 47.
3. Flannery a. Collins. Phot. Journ., В. 86, 1946, 13.
4. В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский др. Наст. сборник, стр. 48.
5. А. Бромберг и Ю. Вилениский. ЖПХ, XXII, 1949.
6. К. Л. Мертц. Цветная фотография. Госкиноиздат, 1949.
7. К. Миз. Теория фотографического процесса. Гостехиздат, 1949.
8. Михайлис. Окислительно-восстановительные потенциалы. Госхимиздат, 1946.



красителя, найденной для монохроматического света с длиной волны, соответствующей максимуму поглощения, к оптической плотности соответствующего серебряного почернения,  $\frac{D_{\lambda}}{D_{Ag}}$ . Эта величина в фотографическом отношении является более важной характеристикой по сравнению с величиной молекулярного выхода, так как в нее входит оптическая плотность, зависящая не только от поверхностной концентрации красителя, но и от коэффициента абсорбции.

С применением указанного способа выражения количественных соотношений серебра и красителя было исследовано влияние некоторых факторов процесса проявления, а именно концентраций проявляющего вещества, диффундирующей компоненты и сульфата натрия в проявляющем растворе (табл. 1), а также была охарактеризована сравнительная эффективность различных компонент цветного проявления (табл. 2).

В. С. ЧЕЛЬЦОВ, А. Н. ИОРДАНСКИЙ, М. В. КРАШЕНИННИКОВА  
и С. А. БОНГАРД

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА КРАСИТЕЛЯ ПРИ ЦВЕТНОМ ПРОЯВЛЕНИИ

Принцип цветного проявления фотографического изображения состоит, как известно, в том, что при использовании в качестве проявляющего вещества производных *л*-фенилендиамина и при наличии в светочувствительном слое или в проявляющем растворе компонент цветного проявления совместно с серебряным изображением образуется изображение из красителя.

В отношении химической сущности процессов образования красителей в течение долгого времени принимались не подтвержденные экспериментальными данными схемы реакций с образованием одной молекулы красителя на четыре выделившихся атома серебра.

Работами А. Е. Порай-Кошица [1] и Г. И. Арбузова [2] было доказано образование при цветном проявлении красителей, идентичных красителям, полученным синтетическим путем из соответствующих нитрозосоединений.

А. Н. Иорданский и Г. И. Арбузов [3], определив аналитически количество металлического серебра и спектрофотометрически — количество красителя, показали, что в исследованных ими условиях химический выход пурпурного красителя из недиффундирующей компоненты пиразолонового ряда достигает, по предполагаемой реакции, теоретического выхода, т. е. на каждые четыре атома серебра образуется одна молекула красителя, и, следовательно, полимеризации и потери продуктов окисления проявляющего вещества не происходит. Однако такой максимальный возможный выход красителя при цветном проявлении достигается лишь в случае применения компонент с большой реакционной способностью и при условии достаточного количества их в проявляемом слое. Так как цветное фотографическое изображение в трехслойных кинофотоматериалах строится из красителей, образующихся в результате реакции первичных продуктов окисления проявляющего вещества с компонентами, то установление связи между количествами восстановленного серебра и образовавшегося красителя представляет большой интерес в отношении характеристики свойств компонент и эффективности процесса цветного проявления.

Вследствие некоторой сложности метода определения молекулярного выхода, исследования количественных соотношений проводили путем определения относительного фотографического выхода красителя. За величину этого выхода было принято отношение оптической плотности

Таблица 1

Относительный выход красителя при различных условиях проявления  
(проявляющее вещество 2-амино-5-диэтиламинотолуол; компонента 2,4-дихлор-1-нафтол)

Концентрация проявляющего вещества, моль/л . . . . .	0,001	0,002	0,004	0,01
Относительный выход $\frac{D_{\lambda-640}}{D_{Ag}}$	2,68	2,81	2,91	2,33
Концентрация компоненты, моль/л	0,001	0,002	0,004	0,01
$\frac{D_{\lambda-640}}{D_{Ag}}$ . . . . .	2,03	3,06	3,58	2,73
Концентрация сульфата натрия, моль/л . . . . .	0,01	0,1	1,0	
$\frac{D_{\lambda-640}}{D_{Ag}}$ . . . . .	3,24	1,98	1,10	

Таблица 2

Относительный выход красителя для различных диффундирующих компонент  
(проявляющее вещество 2-амино-5-диэтиламинотолуол)

	$\frac{D_{\lambda-450}}{D_{Ag}}$		$\frac{D_{\lambda-640}}{D_{Ag}}$
«Желтые» компоненты:		«Голубые» компоненты:	
ацетоацетанилид . . . . .	1,81	1-нафтол . . . . .	1,99
бензоацетанилид . . . . .	1,28	5-ацетамин-1-нафтол . . . . .	1,34
2,5-дихлорацетоацетанилид . . . . .	1,65	2-хлор-1-нафтол . . . . .	2,20
	$\frac{D_{\lambda-530}}{D_{Ag}}$	2,4-дихлор-1-нафтол . . . . .	3,67
«Пурпурные» компоненты:		1,5-диокси-4,6-дибромонафталин . . . . .	1,92
1-фенил-3-метилпиразолон (5) . . . . .	0,41		
<i>л</i> -нитробензилцианид . . . . .	2,75		
1-цианацетилкумарон . . . . .	0,54		
метилоксиндол . . . . .	0,93		



При оценке таким способом цветного проявления было замечено изменение относительного выхода красителя с изменением продолжительности проявления. Поэтому более правильной характеристикой процесса цветного проявления является дифференциальная величина относительного выхода, определяемая из кривой  $(D_{\lambda}, D_{Ag})$  (рис. 1), как отношение  $\frac{\Delta D_{\lambda}}{\Delta D_{Ag}}$  или, в пределе,  $\frac{dD_{\lambda}}{dD_{Ag}}$ .

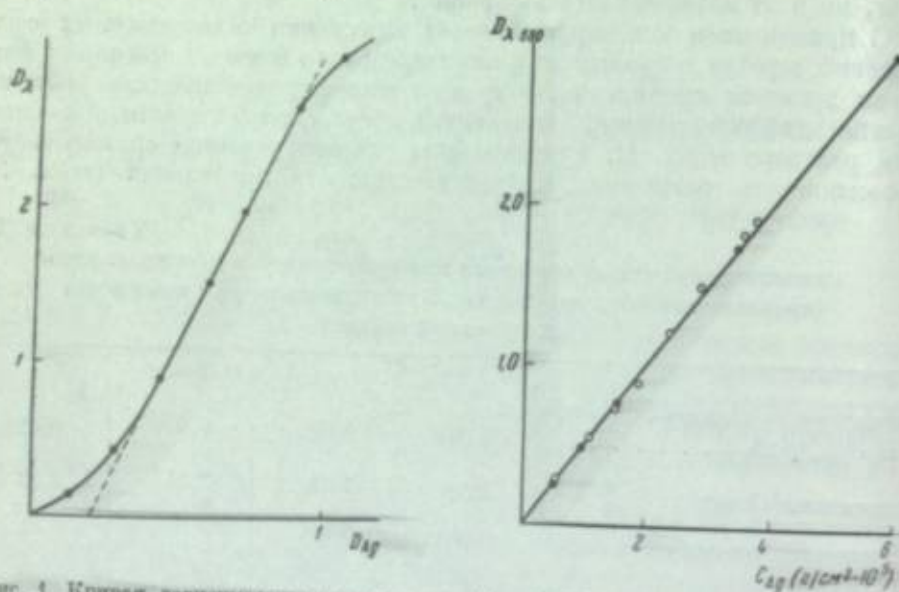


Рис. 1. Кривая зависимости плотности красителя от плотности серебра.

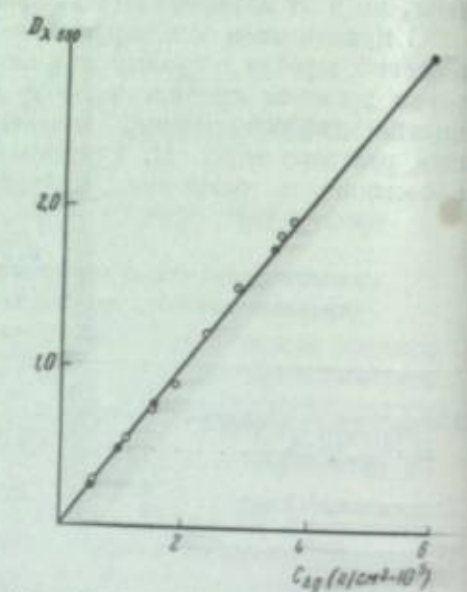


Рис. 2. Кривая зависимости оптической плотности красителя от поверхностной концентрации серебра.

• — крупнозернистая эмульсия; ○ — мелкозернистая эмульсия.

Некоторые данные об изменении относительного выхода красителя с изменением продолжительности проявления приведены в табл. 3.

Таблица 3

Изменение относительного выхода красителя с изменением продолжительности проявления		Изменение относительного выхода красителя с изменением продолжительности проявления (проявляющее вещество 2-амино-5-диэтиламинотолуол; компонента 2,4-дихлор-1-нафтаол)				
Продолжительность проявления, мин.	$D_{Ag}$	$D_{\lambda-470}$	$\frac{D_{\lambda}}{D_{Ag}}$	$\Delta D_{Ag}$	$\Delta D_{\lambda}$	$\frac{\Delta D_{\lambda}}{\Delta D_{Ag}}$
30	0,13	0,14	1,08	0,13	0,14	1,08
60	0,28	0,42	1,50	0,15	0,28	1,87
90	0,44	0,90	2,04	0,16	0,46	2,88
120	0,60	1,52	2,53	0,16	0,62	3,88
150	0,72	1,98	2,75	0,12	0,46	3,84
180	0,90	2,63	2,92	0,18	0,63	3,51
240	1,05	2,96	2,82	0,15	0,33	2,20

С. А. Бонгард [4] показал экспериментально, что молекулярный выход красителя при цветном проявлении фотографических слоев, резко отличающихся по размерам зерен, одинаков и что зависимость оптической плотности красителя от поверхностной концентрации металлического серебра до начала истощения слоя в отношении содержания компоненты является линейной (рис. 2).

Количественная характеристика зависимости между оптическими плотностями красителя и серебра при цветном проявлении заметно изменяется

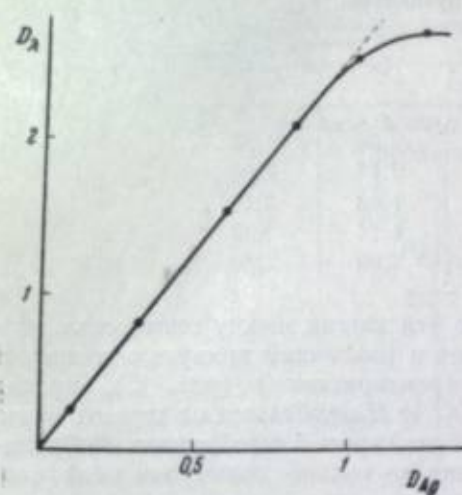


Рис. 3. Кривая зависимости плотности красителя от плотности серебра при одной продолжительности проявления.

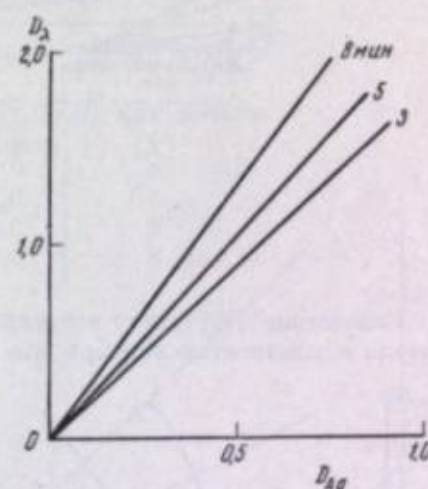


Рис. 4. Зависимость  $(D_{\lambda-470}, D_{Ag})$  для постоянной экспозиции и переменной продолжительности проявления.

$$\frac{dD_{\lambda-470}}{dD_{Ag}} = 1,76 \text{ (3 мин.); } 2,06 \text{ (5 мин.); } 2,56 \text{ (8 мин.).}$$

в зависимости от физического состояния серебряного изображения, т. е. неодинаковой кроющей способности серебра у различных эмульсий и на различных стадиях проявления.

Для большинства мелкозернистых фотографических слоев кроющая способность особенно заметно изменяется в начальный период цветного проявления, уменьшаясь с увеличением продолжительности проявления. Для различных же величин плотности серебра при одной продолжительности проявления (например, для различных почернений полей сенситограммы) кроющая способность практически одинакова. Вследствие этого зависимость  $(D_{\lambda}, D_{Ag})$  для одной продолжительности проявления выражается, как правило, прямой линией, проходящей через начало координат (рис. 3). Так как при увеличении продолжительности проявления кроющая способность серебра уменьшается, а химический выход красителя в некоторых пределах процесса проявления остается, повидному, постоянным, то наклон прямых  $(D_{\lambda}, D_{Ag})$  с продолжительностью проявления увеличивается, т. е. растет относительный выход красителя (рис. 4). Таким образом, при цветном проявлении характеристическая кривая фотографического изображения из красителя  $(D_{\lambda}, \lg H)$  определенным образом связана с характеристической кривой  $(D_{Ag}, \lg H)$ . Вследствие того, что кроющая способность металлического серебра с продол-



жательностью проявления уменьшается, увеличение коэффициента контрастности изображения из красителя происходит иначе, чем для серебряного изображения, что видно из приводимой таблицы изменения коэффициентов контрастности изображения из красителя ( $\gamma_\lambda$ ) и серебряного ( $\gamma_{Ag}$ ) изображения (табл. 4).

Таблица 4

Изменение коэффициентов контрастности при цветном проявлении			
Продолжительность проявления, мин.	$\gamma_{Ag}$	$\gamma_\lambda$	$\frac{\gamma_\lambda}{\gamma_{Ag}}$
3	0,25	0,33	1,32
4	0,34	0,68	2,00
5	0,47	1,03	2,19
6	0,69	1,74	2,42
8	0,73	2,09	2,86

Вследствие отсутствия постоянного отношения между плотностью красителя и плотностью серебра для слоев с различной гранулометрической характеристикой (рис. 5), кривая  $D_\lambda, \lg H$  отличается от характеристической кривой серебряного изображения не только величиной коэффициента контрастности, но также формой в области недодержек и передержек.

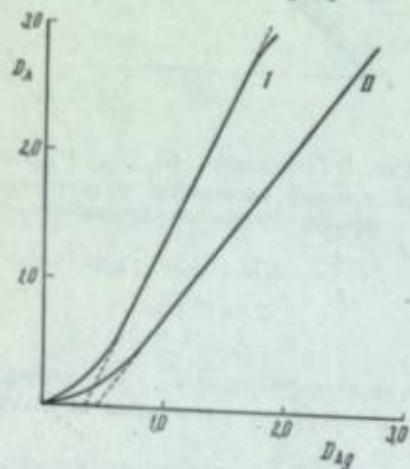


Рис. 5. Зависимость ( $D_\lambda - 620, D_{Ag}$ ) проявленного слоя при изменении продолжительности проявления.  
 I — крупнозернистая эмульсия  $\frac{dD_\lambda - 620}{dD_{Ag}(1,5)} = 2,28$ ; II — мелкозернистая эмульсия  $\frac{dD_\lambda - 620}{dD_{Ag}(1,5)} = 1,32$ .

Например, в случае семейства характеристических кривых  $D_{Ag}, \lg H$ , строго отвечающего так называемому ортофотическому типу эмульсий, кривые изображения ( $D_\lambda, \lg H$ ) не имеют общей точки пересечения (рис. 6 и 7).

Изменение формы характеристических кривых особенно заметно выражено для смешанных эмульсий, имеющих кривую серебряного изображения с точкой излома (рис. 8). При особенно большом различии в относительном выходе красителя прямой линейный участок характеристической кривой цветного изображения может быть несколько смещен, а иногда даже может полностью соответствовать области недодержек кривой серебряного изображения (рис. 9).

Характеристика цветного проявления в отношении величины и хода изменения относительного фотографического выхода красителя полезна также для изучения свойств светочувствительных материалов и веществ цветного проявления, в первую очередь при определении реакционной способности и фотографической эффективности компонент цветного проявления и установлении рационального соотношения составных частей светочувствительного слоя (рис. 10—12).

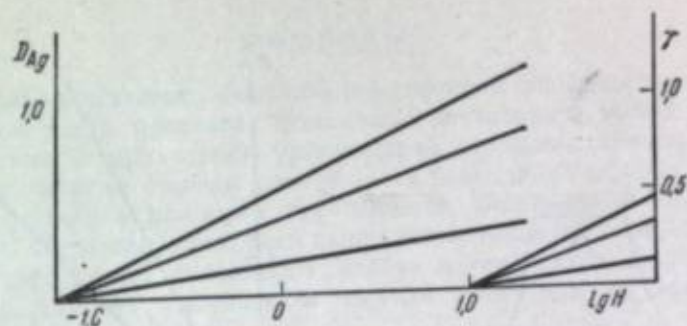


Рис. 6. Семейство кривых ( $D_{Ag}, \lg H$ ) при цветном проявлении слоя.

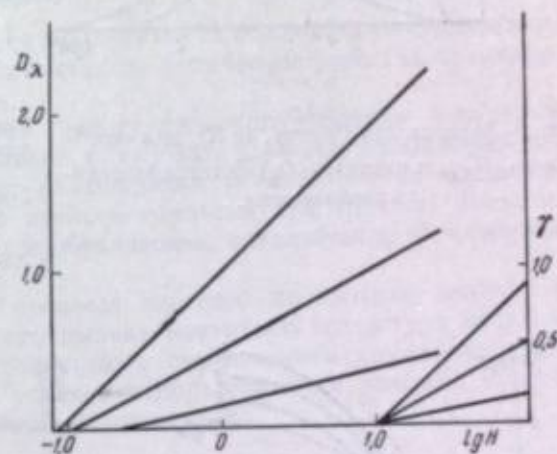


Рис. 7. Семейство кривых ( $D_\lambda - 620, \lg H$ ) при цветном проявлении слоя.

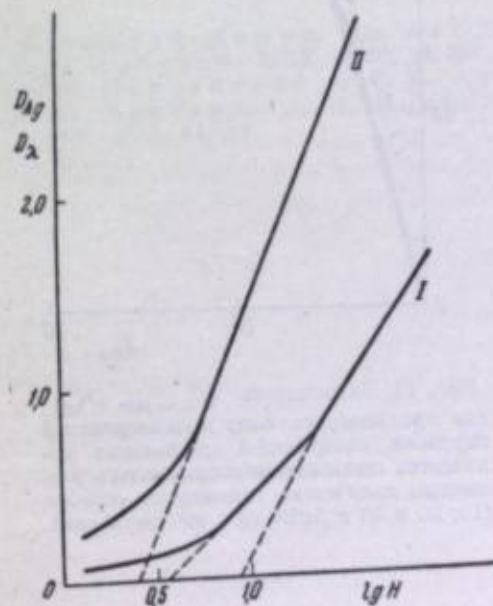


Рис. 8. Характеристические кривые [ $D_{Ag}, \lg H(I)$ ] и [ $D_\lambda, \lg H(II)$ ] смешанной эмульсии при цветном проявлении.



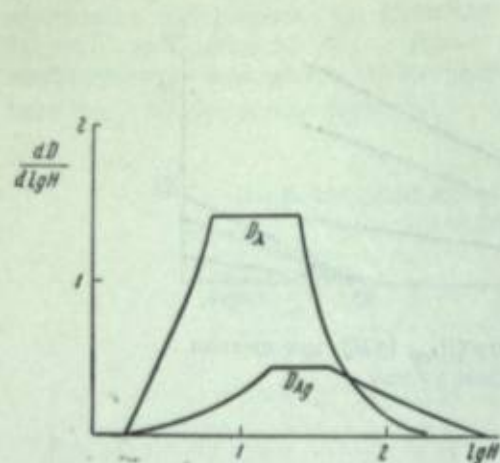


Рис. 9. Зависимость  $(\frac{dD}{d \lg H}, \lg H)$  для серебряного ( $D_{Ag}$ ) и цветного ( $D_{\lambda}$ ) фотографического изображения.

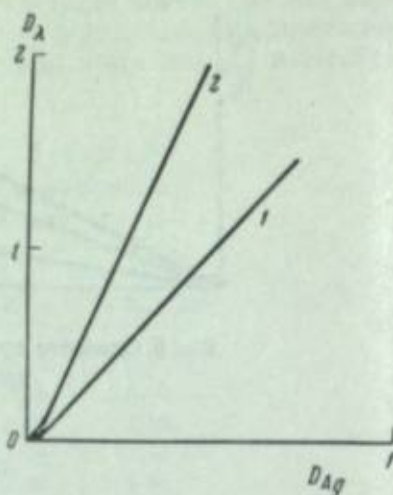


Рис. 10. Выход красителя при цветном проявлении с компонентами 2-хлор-1-нафтолом ( $\frac{dD_{\lambda}}{dD_{Ag}} = 2,02$ ) и 2,4-дихлор-1-нафтолом ( $\frac{dD_{\lambda}}{dD_{Ag}} = 4,0$ ).

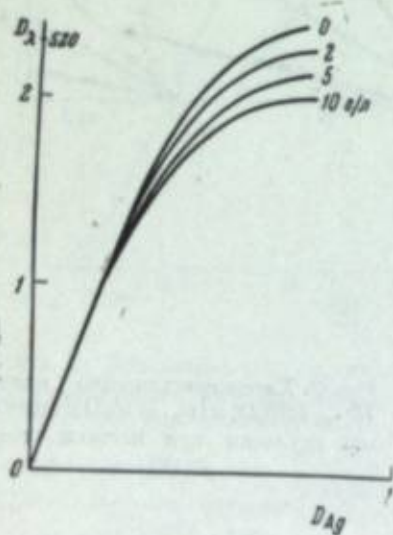


Рис. 11. Выход нерастворимого красителя из недиффундирующей компоненты при проявлении с различной концентрацией сульфита натрия (0; 2; 5 и 10 г/л).

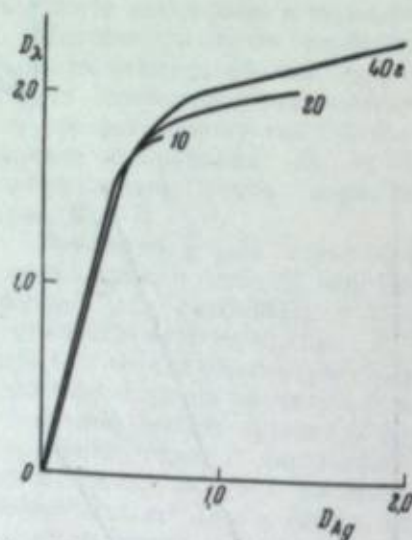


Рис. 12. Зависимость  $(D_{\lambda} - 380, D_{Ag})$  для проявленного слоя мелкозернистой эмульсии, содержащей одинаковые количества желатин и компоненты и различные количества галогенного серебра (10; 20 и 40 г  $AgBr$  на 1 кг эмульсии).

## ВЫВОДЫ

1. В случае компонент с большой реакционной способностью на первой значительной части процесса проявления достигается выход красителя в соответствии с принятыми уравнениями реакции, причем величина выхода не зависит от степени дисперсности галогенного серебра. Величина выхода красителя в основном определяется реакционной способностью компоненты, тогда как от свойств светочувствительного слоя, т. е. от характера распределения галогенного серебра и компоненты в слое, зависит, по видимому, степень постоянства выхода красителя во времени проявления.

2. Относительный фотографический выход красителя при цветном проявлении, выражаемый формулой  $\frac{dD_{\lambda}}{dD_{Ag}}$ , для одного слоя является величиной переменной и изменяется в зависимости от свойств эмульсионного слоя и условий проявления, влияющих на физические свойства проявленного серебряного изображения.

3. Изменение относительного фотографического выхода красителя в зависимости от свойств эмульсии и условий цветного проявления является причиной значительных расхождений в сенситометрической характеристике фотографических свойств эмульсии при цветном проявлении в сравнении с серебряным изображением, оцениваемым оптическими методами.

4. Способ характеристики процесса цветного проявления величиной относительного фотографического выхода красителя вследствие меньшей практической сложности по сравнению с определением химического выхода красителя может быть с успехом использован для решения многих вопросов при исследовании цветного проявления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Е. Порай-Кошиц. Изв. АН СССР, ОХН, 1945, 3, 261.
2. Г. И. Арбузов. ЖПХ, 1950, 23, 886.
3. А. Н. Иорданский и Г. И. Арбузов. ЖПХ, 1951, 24, 337.
4. С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, В. С. Чельцов. ДАН СССР, 1952, 84, 81.



на постоянном и низком уровне. Вследствие этого ранее приведенное уравнение разности потенциалов должно быть преобразовано, а именно:

$$\Delta E = E_{Ag} - E_{пр}^0 + \vartheta \lg [Red] - \vartheta \lg f [H].$$

Таким образом, разность потенциалов, наличие которой является необходимым условием протекания процесса фотографического проявления, для органических проявляющих веществ зависит не от логарифма отношений молярных концентраций окисленной и восстановленной формы, а от логарифма молярной концентрации восстановленной формы, или, другими словами, от логарифма молярной концентрации проявляющего вещества. Наряду с этим Н. Н. Шишкина [5] показала, что для метоловых и парааминофеноловых проявителей значение оптических плотностей фотографического изображения, получаемых при одной и той же продолжительности проявления, прямо пропорционально разности потенциалов между серебряной и проявляющей системами ( $\Delta E$ ).

На основании изложенного можно ожидать соблюдения линейной зависимости между плотностью черно-белого фотографического изображения, проявленного с помощью органических проявляющих веществ, при равенстве рН проявляющих растворов и концентрации сульфита натрия, и логарифмом молярной концентрации проявляющего вещества.

При цветном проявлении роль сульфита, как акцептора продуктов окисления проявляющих веществ, выполняет цветная компонента, введенная в светочувствительный слой. При взаимодействии продуктов окисления с компонентой образуется соответствующий краситель. Следовательно, можно ожидать, что процесс цветного проявления, так же как и процесс проявления черно-белого, при постоянной концентрации сульфита и постоянном рН будет зависеть от логарифма молярной концентрации проявляющего вещества.

#### МЕТОДИКА РАБОТЫ

Исследования проводились на цветной позитивной киноплёнке. Плёнку экспонировали в сенситометре ГОИ [6] с источником света, имеющим цветную температуру 2840° К под нейтрально серым графитовым клином.

В качестве проявляющих веществ применяли серниокислые диэтил-*л*-фенилендиамин и этилоксиэтил-*л*-фенилендиамин в концентрациях 0,0036; 0,0108; 0,0216 и 0,0324 моль/л. Концентрация проявляющих веществ выражалась значением рС — логарифма молярной концентрации, взятого с обратным знаком. Рецепт проявляющего раствора отличался от рецепта, приведенного у К. Л. Мертца [7], лишь концентрацией гидроксиламина, который вводился в количестве 2 г/л или же совсем не вводился. Концентрацию сульфита во всех опытах сохраняли одну и ту же, равную 0,016 моль/л. Значения рН проявляющих растворов при различных концентрациях этилоксиэтил-*л*-фенилендиамина и гидроксиламина (измеренные Н. Н. Шишкиной) колебались в пределах 10,4—11,2. Проявление осуществлялось в приборе ФКЦ-12 [6], в котором одновременно находились четыре сенситограммы в вертикальном положении. Объем проявляющего раствора был равен 1 л. Температура проявления 18±0,5°. Все последующие стадии обработки проявленных сенситограмм проводились в горизонтальных кюветах при одинаковом режиме. Плотности цветных изображений и плотности цветной вуали измерялись на зеркальном монохроматоре ГОИ [8] при помощи селенового фотоэлемента.

В. А. ВЕЙДЕНБАХ и Е. А. КАРПОВИЧ

#### ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЦЕССА ЦВЕТНОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОЯВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Данная работа посвящена изучению влияния концентрации проявляющего вещества на процесс проявления цветного изображения и объяснению этого влияния с точки зрения электрохимической теории проявления, разработанной Г. П. Фаерманом и С. И. Чербовым [1].

Согласно этой теории, процесс проявления черно-белого фотографического изображения будет протекать при условии, когда разность потенциалов между серебряной ( $E_{Ag}$ ) и проявляющей ( $E_{пр}$ ) системами превышает нулевое значение, т. е.

$$\Delta E = E_{Ag} - E_{пр} > 0.$$

Если вместо  $E_{пр}$  поставить его развернутое выражение, то разность потенциалов будет равна:

$$\Delta E = E_{Ag} - E_{пр}^0 - \vartheta \lg \frac{[Ox]}{[Red]} - \vartheta \lg f [H],$$

где  $[Ox]$ ,  $[Red]$  и  $[H]$  — молярные концентрации окислительной и восстановленной формы проявляющего вещества и водородных ионов. Из этого уравнения следует, что при прочих равных условиях проявление фотографического изображения зависит не от концентрации проявляющего вещества, а от отношения концентраций окисленной  $[Ox]$  и восстановленной  $[Red]$  форм проявляющего вещества. Это уравнение полностью выполняется при применении железного проявителя. Однако в случае применения органических проявляющих веществ потребовалось уточнение, так как в уравнении не учитывается влияние сульфита натрия.

Ранее один из авторов настоящей статьи показал [2], что сульфит натрия в концентрациях, применяемых при обычном проявлении, не влияет на потенциал серебряной системы. В свою очередь С. Г. Богданов [3] обнаружил, что введение сульфита в проявляющий раствор стабилизирует окислительно-восстановительный потенциал проявляющих систем на некотором низком уровне. Объяснение этого стабилизирующего действия сульфита было дано в работе Эванса и Хенсона [4], которые пришли к заключению, что роль сульфита в проявляющих растворах сводится к поддержанию концентрации окисленной формы проявляющего вещества



В начале работы этикетки, при использовании выделенных слоев одной и той же пленки, которые

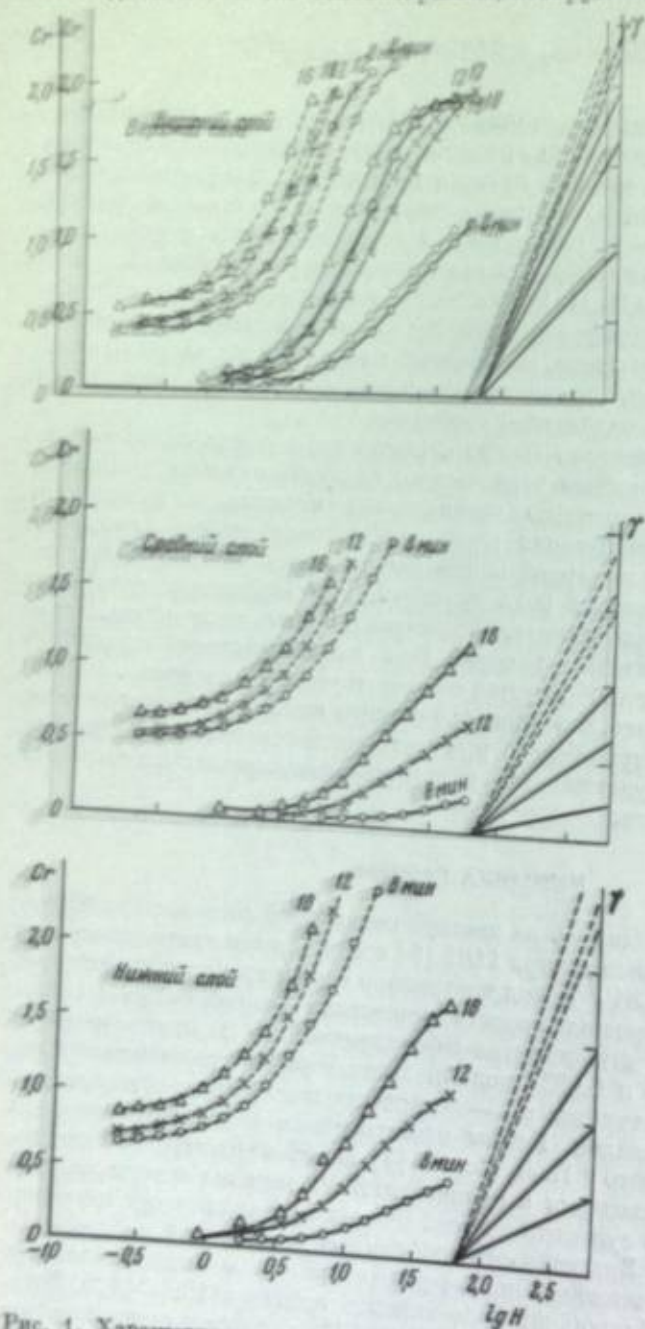


Рис. 1. Характеристические кривые, полученные при концентрациях этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина 0,0036 моль/л (сплошные кривые) и 0,0324 моль/л (пунктирные кривые).

Характеристические кривые при изменении концентрации проявляющих веществ в проявителе. С этой целью мы выбрали две концентрации этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина: 0,0036 и 0,0324 моль/л. Результаты этих

опытов графически представлены на рис. 1, из которого видно, что с увеличением концентрации этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина относительные концентрации красителей, соответствующие фотографическому изображению и вуали, повышаются. Кроме того, одновременно повышаются светочувствительности  $S_{C_7, \pm 0,2}$  и коэффициент контрастности ( $\gamma$ ). Вместе с тем кривые изменяют свою форму. Длина прямолинейных участков уменьшается, область недодержек увеличивается, а область передержек, которая имеется в ряде случаев при малых концентрациях проявляющих веществ, при больших концентрациях исчезает. При высоких концентрациях проявляющих веществ форма характеристических кривых приближается к кривым с постепенно возрастающим градиентом.

Для того чтобы избежать влияния наложения кривой поглощения одного красителя на кривую поглощения другого красителя, результаты опытов выражали в относительных концентрациях, получаемых при проявлении красителей, значения которых определяли по методу Ю. Н. Горюховского, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг [9].

Обоснование выбранной методики и более подробное ее описание дано в ранее опубликованной статье [10].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего необходимо было установить, как изменяются

опытов графически представлены на рис. 1, из которого видно, что с увеличением концентрации этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина относительные концентрации красителей, соответствующие фотографическому изображению и вуали, повышаются. Кроме того, одновременно повышаются светочувствительности  $S_{C_7, \pm 0,2}$  и коэффициент контрастности ( $\gamma$ ). Вместе с тем кривые изменяют свою форму. Длина прямолинейных участков уменьшается, область недодержек увеличивается, а область передержек, которая имеется в ряде случаев при малых концентрациях проявляющих веществ, при больших концентрациях исчезает. При высоких концентрациях проявляющих веществ форма характеристических кривых приближается к кривым с постепенно возрастающим градиентом.

Эти результаты получены при проявлении с этилоксиэтил-*n*-фенилендиамином в присутствии гидроксиламина. Аналогичные результаты получаются с тем же проявляющим веществом без гидроксиламина, а также с диэтил-*n*-фенилендиамином в присутствии гидроксиламина.

Результаты опытов по изучению влияния концентрации проявляющих веществ на цветное проявление графически выражены в форме кривых зависимости относительной концентрации красителей, соответствующих седьмому полю сенситограммы ( $C_7$ ) от  $pC$ .

На рис. 2 представлены результаты опытов с этилоксиэтил-*n*-фенилендиамином. Сплошные кривые относятся к опытам проявления с гидроксиламином, пунктирные — к опытам, проведенным без него.

На характер кривых зависимости относительных концентраций красителей, получаемых при проявлении, от логарифма молярной концентрации влияют расположение проявляемого слоя и время проявления. Для верхнего слоя уже при малых временах проявления соблюдается прямая пропорциональность между относительными концентрациями красителей и значениям  $pC$ . С увеличением времени проявления эта пропорциональность

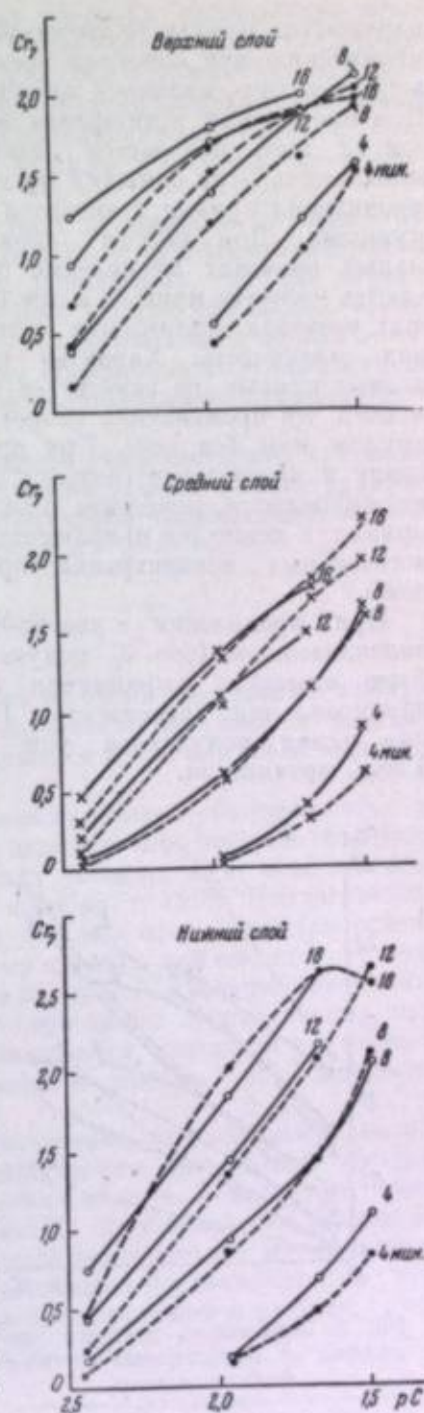


Рис. 2. Зависимость цветного фотографического проявления от концентрации этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина.

Сплошные кривые — с гидроксиламином, пунктирные кривые — без гидроксиламина.



нарушается. Кривые, соответствующие проявлению при коротких временах в среднем слое, являются вогнутыми. При проявлении в интервале между 8 и 12 мин. получается линейная зависимость. При больших временах проявления кривые становятся выпуклыми. Для нижнего слоя при малых временах проявления получают вогнутые кривые, а при больших временах проявления — линейная зависимость. Характер получаемых кривых не зависит от того, ведется ли проявление в гидроксаминном или без него. При проявлении в присутствии гидроксаминной добавки изменяется характер кривых и в некоторой степени относительных концентраций красителей. При проявлении в присутствии гидроксаминной добавки кривые становятся более выпуклыми, а при проявлении в присутствии гидроксаминной добавки кривые становятся более линейными.

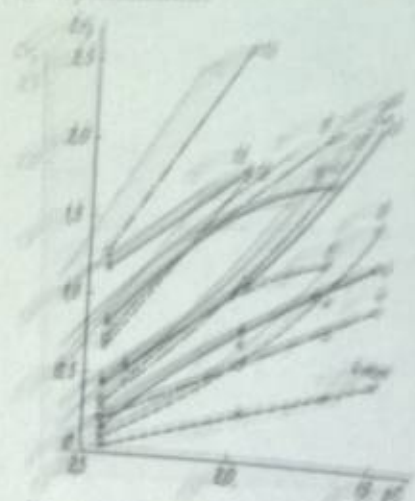


Рис. 3. Зависимость относительной концентрации красителя от концентрации проявителя в среднем слое: — 4 мин; — 8 мин; — 12 мин.

Необходимо заметить, что пропорциональная зависимость между относительными концентрациями красителей и  $pC$  получается вблизи рекордного времени проявления: для этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина — около 11 мин., для диэтил-*n*-фенилендиамина — около 6 мин.



Рис. 4. Сравнение восстановительной способности этилоксиэтил- и диэтил-*n*-фенилендиаминных проявителей. Сплошные кривые — этилоксиэтил-*n*-фенилендиаминный проявитель; пунктирные кривые — диэтил-*n*-фенилендиаминный проявитель.

При равных концентрациях и равных временах проявления относительные концентрации красителей, соответствующие фотографическому изображению и вуали, при проявлении с диэтил-*n*-фенилендиамином получаются выше, чем с этилоксиэтил-*n*-фенилендиамином (рис. 4). При проявлении с диэтил-*n*-фенилендиамином цветная вуаль получается более высокой, чем при проявлении с этилоксиэтил-*n*-фенилендиамином.

Различие в характере зависимости цветного проявления от концентрации проявляющего вещества между этилоксиэтил-*n*-фенилендиамином и диэтил-*n*-фенилендиамином вызывается, по видимому, тем, что первый из них является менее энергичным. Возможно, что уже при малых временах проявления в случае диэтил-*n*-фенилендиаминовых проявителей достигается прямая пропорциональность между относительной концентрацией красителя ( $C_r$ ) и логарифмом молярной концентрации проявляющего вещества.

Приведенные результаты дают возможность утверждать, что при оптимальных временах проявления между относительными концентрациями красителей и логарифмом молярных концентраций проявляющих веществ соблюдается прямая пропорциональность, т. е.

$$C_r = k \lg [Red].$$

Это указывает на то, что образующиеся во время проявления продукты окисления проявляющих веществ немедленно вступают в реакцию сочетания с цветной компонентой, находящейся в том или ином светочувствительном слое.

Получение вогнутых кривых, по видимому, можно объяснить тем, что образование красителей задерживается недостаточно быстрым поступлением продуктов окисления проявляющих веществ, т. е. недостаточной скоростью восстановления галоидного серебра в слое. Получение выпуклых кривых можно объяснить или тем, что процесс восстановления галоидного серебра приближается к своему пределу, или тем, что образующиеся вокруг галоидосеребряного зерна продукты окисления проявляющего вещества не успевают за короткий срок своего существования продиффундировать через слой уже образовавшегося красителя и, следовательно, претерпевают дальнейшее окисление прежде, чем встретятся с цветной компонентой.

Все изложенное подтверждает предположение, высказанное в начале статьи, о характере количественной зависимости проявления цветного изображения от концентрации проявляющих веществ. Больше того, обнаружение прямой пропорциональности между относительными концентрациями красителей и логарифмом молярной концентрации проявляющих веществ можно рассматривать как подтверждение предположения о применимости электрохимической теории проявления также к процессу цветного проявления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Фаерман и С. И. Чербов. Фотокинохимическая промышленность, 1934, 3, 30.
2. В. А. Вейденбах. ЖНХ, 1934, 7, 339.
3. С. Г. Богданов. ЖФХ, 1934, 5, 1945.



4. R. M. Evans and W. T. Hanson. Journ. Phys. Chem., 1937, 41, 509.
5. Н. Н. Шишкина. ЖФХ, 1937, 10, 848.
6. ГОСТ 2817-45.
7. К. Л. Мертц. Цветная фотография. Госкиноиздат, 1949.
8. М. А. Юрьев и И. А. Тельтевский. Изв. АН СССР, сер. физ., 1947, 11, 452.
9. Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг. Докл. АН СССР, 1951, 79, 73.
10. В. А. Вейденбах и Е. А. Карнович. ЖФХ, 1951, 25, 903.

Г. П. ФАЕРМАН и Н. Н. ШИШКИНА

## РОЛЬ ЩЕЛОЧИ ПРИ ЦВЕТНОМ ПРОЯВЛЕНИИ

Ранее нами было показано [1], что роль щелочи в процессе проявления сводится к созданию и поддержанию в проявляющем растворе требуемой концентрации водородных ионов. При этом плотность проявленного изображения для данной экспозиции и времени проявления возрастает линейно с увеличением рН проявителя. В связи с появлением в фотографической практике многослойных материалов для цветной фотографии возникает вопрос, существуют ли закономерности, наблюдаемые при черно-белом проявлении, также при цветном проявлении, в частности, как изменяются цветные плотности проявленного изображения с изменением рН проявителя.

Предпринятые для выяснения этого вопроса опыты проводились на негативной цветной многослойной пленке типа G-2 и на цветной позитивной пленке. Экспонирование пленок проводилось в сенситометре ГОИ [2]. Источником света служила лампа с цветовой температурой 2840° К. Время освещения для негативной пленки было равно 1/20 сек., для позитивной — 1/5 сек. Количество освещения на слое за 11-ым полем клина сенситометра составляло для негативной пленки 0,63 лк.-сек. и для позитивной 2,5 лк.-сек. Сенситограммы проявляли в проявительном приборе ФКЦ-12 при температуре 18±0,3°. Остальные операции обработки пленки проводили в стеклянных кюветах.

Состав проявителя для негативной пленки:

диэтил- <i>л</i> -фенилендиамин сернокислый . . . . .	2,75 г
сульфит натрия безводный . . . . .	2,00 .
поташ . . . . .	75,00 .
гидроксиламин сернокислый . . . . .	1,20 .
двунариевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты . . . . .	1,00 .
бромистый калий . . . . .	2,55 .
вода . . . . .	до 1000 мл

Проявитель имел рН = 11,3.

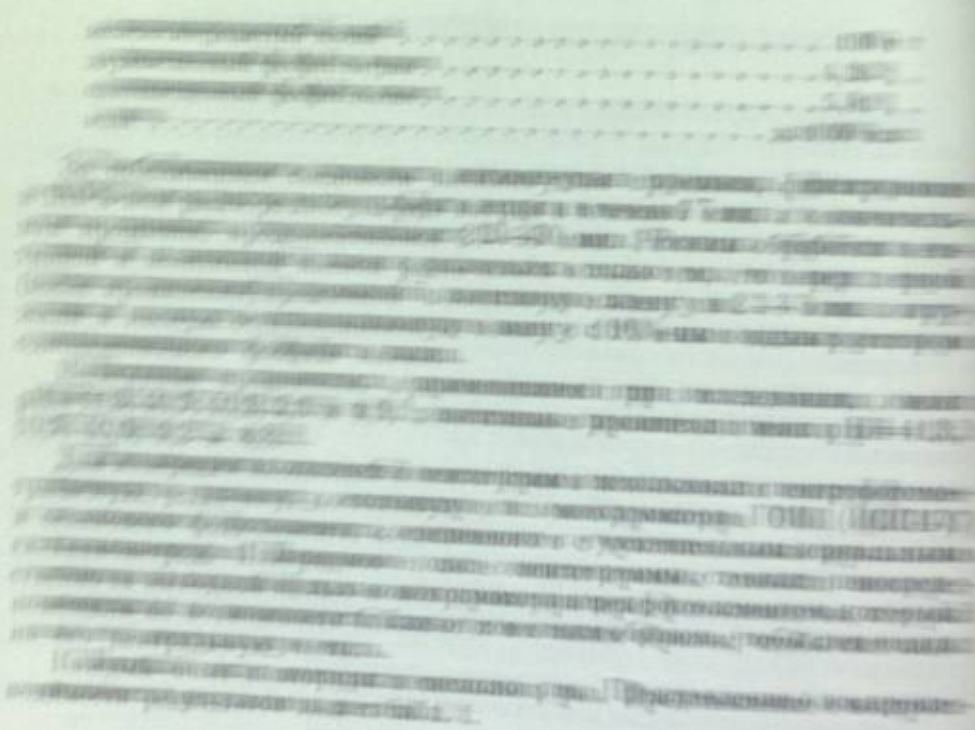
Состав проявителя для позитивной пленки:

этилоксиэтил- <i>л</i> -фенилендиамин сернокислый . . . . .	6,00 г
сульфит натрия безводный . . . . .	2,00 .
поташ . . . . .	75,00 .
гидроксиламин сернокислый . . . . .	2,00 .
бромистый калий . . . . .	2,50 .
двунариевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты . . . . .	1,00 .
вода . . . . .	до 1000 мл



Проявитель имеет pH = 10,7.

В дальнейшей работе то или иное значение pH проявителей достигалось прибавлением к ним соответствующего количества серной кислоты или едкого щелка. Значение pH определяли потенциометрически при помощи стандартных электродов. Измерения были одновременно выполнены электродом в стандартном растворе с известным pH. Начатную пленку проявляли в течение 1, 3, 6 и 10 мин. доминантную — в течение 2, 5, 11 и 16 мин. Проявление проводили через сутки после приготовления растворов. Непосредственно до проявления пленки проявитель проявляли в течение 10 мин. в объеме 10 мл. Затем в течение 5 мин. с обработкой пленки в осветлителе и растворе стабилизатора составили.



Длина волны, мкм	10 мин		16 мин	
	10 мин	16 мин	10 мин	16 мин
0,45	0,20	0,17	0,19	0,19
0,50	0,23	0,18	0,20	0,20
0,55	0,20	0,14	0,18	0,18
0,60	0,20	0,10	0,18	0,18
0,65	0,20	0,08	0,18	0,18
0,70	0,20	0,06	0,18	0,18
0,75	0,20	0,04	0,18	0,18
0,80	0,20	0,02	0,18	0,18
0,85	0,20	0,01	0,18	0,18
0,90	0,20	0,00	0,18	0,18
0,95	0,20	0,00	0,18	0,18
1,00	0,20	0,00	0,18	0,18

Кривые спектрального поглощения применявшихся нами пленок имеют в результате цветного проявления три максимума. Эти максимумы принадлежат различным красителям, образующимся при проявлении в каждом из трех слоев. Плотности измеряли для длин волн, приблизительно отвечающих положениям этих максимумов.

Изменение плотности для монохроматического излучения может происходить как вследствие изменения концентрации красителя, которое вызывает пропорциональное изменение ординат всей кривой спектрального поглощения, так и вследствие изменения положения максимума кривой по спектру под влиянием тех или иных условий проявления. Поэтому прежде всего необходимо было установить, влияют ли условия цветного проявления и последующей обработки пленок на положение максимумов по спектру.

Наши опыты показали, что положение максимумов у обоих видов пленки остается неизменным при изменении времени проявления и pH проявителя. Вследствие этого оптические плотности, образованные тремя красителями, могут быть охарактеризованы поглощением монохроматических излучений, причем удобнее всего — при длинах волн, отвечающих положениям максимумов поглощения красителей.

Опытами различных исследователей было установлено, что закон Бугера удовлетворительно выполняется при поглощении света красителями цветных многослойных пленок. По этой причине измерение монохроматического поглощения в максимуме может служить для определения количества красителя.

Если бы мы имели дело с красителями, имеющими узкие и не перекрывающиеся полосы поглощения, то задача была бы чрезвычайно проста. Но полосы поглощения красителей цветных пленок широки и перекрывают друг друга. Вследствие этого нельзя ожидать пропорциональности между измеренной плотностью и количеством красителя, в максимуме поглощения которого производится измерение. Тем не менее эти количества могут быть определены из измеренных оптических плотностей расчетным путем.

Принцип такого расчета, предложенный Ю. Н. Гороховским, Д. К. Баглауха и Т. М. Левенберг [3], состоит в следующем. Путем измерения трех однослойно политых экспонированных и проявленных пленок определяют спектральные кривые поглощения красителей каждого из слоев при условии, что оптическая плотность в максимуме поглощения равна единице. Пользуясь этими «нормальными» кривыми поглощения и предполагая справедливость закона Бугера для красителей, входящих в состав всех трех слоев, можно для трех монохроматических плотностей трехслойной пленки написать следующую систему уравнений:

$$D_{\lambda_1} = c'_1 d'_{\lambda_1} + c''_1 d''_{\lambda_1} + c'''_1 d'''_{\lambda_1}$$

$$D_{\lambda_2} = c'_2 d'_{\lambda_2} + c''_2 d''_{\lambda_2} + c'''_2 d'''_{\lambda_2}$$

$$D_{\lambda_3} = c'_3 d'_{\lambda_3} + c''_3 d''_{\lambda_3} + c'''_3 d'''_{\lambda_3}$$

где  $c_r$  — относительные концентрации красителей,  
 $d_{\lambda}$  — ординаты «нормальных» кривых поглощения соответствующих красителей для избранных длин волн,  
 $D_{\lambda}$  — измеренные монохроматические оптические плотности совокупности красителей в исследуемом цветном поле.



Подставляя соответствующие числовые значения  $d_\lambda$  и решая систему уравнений относительно  $c'_j$ ,  $c''_j$ ,  $c'''_j$ , получаем для негативной пленки следующие уравнения:

$$C_{\text{ж}} = -0,11 \cdot D_{490} - 0,33 \cdot D_{530} + 1,06 \cdot D_{440}$$

$$C_{\text{п}} = -0,07 \cdot D_{490} + 1,05 \cdot D_{530} - 0,18 \cdot D_{440}$$

$$C_{\text{г}} = 1,01 \cdot D_{490} - 0,04 \cdot D_{530} - 0,04 \cdot D_{440}$$

позволяющие вычислить концентрации желтого ( $C_{\text{ж}}$ ), пурпурного ( $C_{\text{п}}$ ) и голубого ( $C_{\text{г}}$ ) красителей, если известны измеренные значения монохроматических цветных плотностей:  $D_{490}$ ,  $D_{530}$  и  $D_{440}$ .

Для вычисления концентраций красителей в позитивной пленке служат уравнения:

$$C_{\text{ж}} = -0,04 \cdot D_{670} - 0,36 \cdot D_{530} + 1,08 \cdot D_{440}$$

$$C_{\text{п}} = -0,13 \cdot D_{670} + 1,08 \cdot D_{530} - 0,20 \cdot D_{440}$$

$$C_{\text{г}} = 1,2 \cdot D_{670} - 0,07 \cdot D_{530} - 0,03 \cdot D_{440}$$

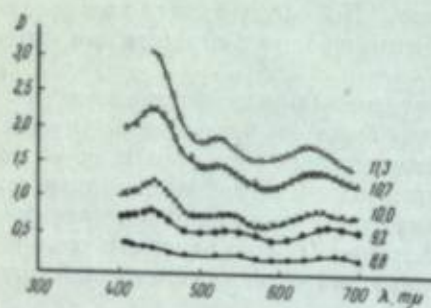


Рис. 1. Зависимость спектрального поглощения позитивной цветной пленки от pH проявителя.

Количество освещения  $H = 28,2$  лк-сек. Продолжительность проявления 4 мин. Значения pH указаны цифрами около кривых.

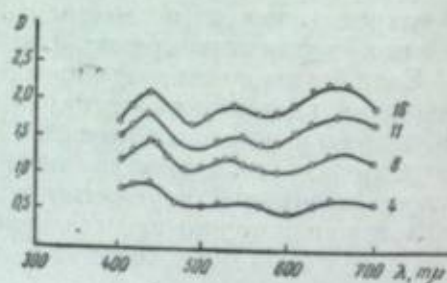


Рис. 2. Зависимость спектрального поглощения позитивной цветной пленки от времени проявления.

Количество освещения  $H = 28,2$  лк-сек. pH проявителя 9,2. Продолжительность проявления (в минутах) указана цифрами около кривых.

Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг составили удобные таблицы и номограммы, с помощью которых эти вычисления могут быть произведены просто и быстро.

На рис. 1 представлено семейство кривых спектрального поглощения многослойной позитивной пленки, построенных в результате промеров полей сенситограмм, получивших количество освещения 28,2 лк-сек.; время проявления 4 мин. в указанных выше растворах с различными значениями pH, изменявшимися от 8,8 до 11,3. Рассмотрение этих кривых показывает, что с ростом pH проявление ускоряется, причем оптические плотности всех слоев увеличиваются приблизительно в одинаковое число раз.

На рис. 2 приведены кривые спектрального поглощения 4-го поля сенситограмм (28,2 лк-сек.), проявленных в течение разного времени в проявителе с pH = 9,2. Из кривых видно, что нарастание плотности происходит медленнее всего при  $\lambda$ , характеризующей краситель верхнего слоя. При малых временах проявления верхний слой проявляется в наи-

большей степени, с увеличением же времени проявления плотности нижнего слоя не только выравниваются с остальными, но и превышают их. Это может быть связано, как с различиями в кинетике проявления различных слоев, так и с большим выходом красителя нижнего слоя.

Измерив плотности всех полей сенситограмм для длин волн 440; 530 и 670 м $\mu$ , мы построили характеристические кривые цветной позитивной пленки для 4; 8; 11 и 16 мин. проявления в исследованном интервале pH. Значения плотностей 8-го поля ( $H = 7,0$  лк-сек.), лежащего во всех случаях на прямолинейном участке характеристических кривых, были нанесены на график (рис. 3) в зависимости от pH.

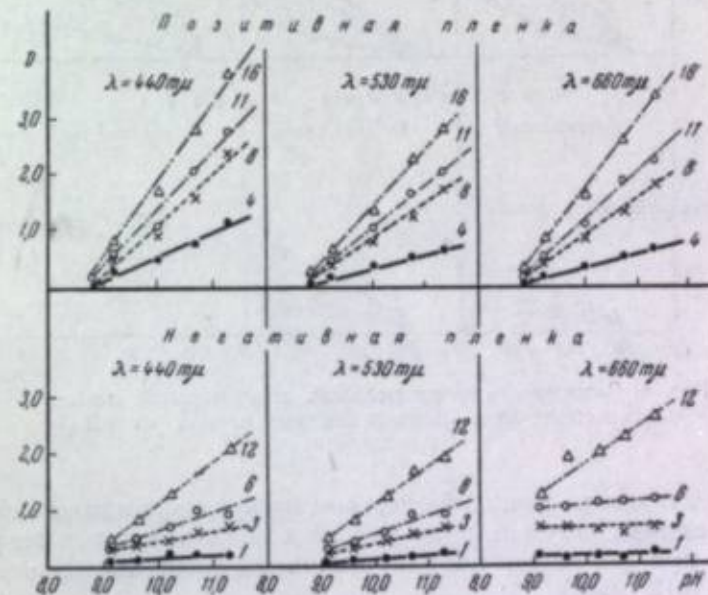


Рис. 3. Зависимость монохроматических плотностей 8-го поля от pH проявителя.

Продолжительность проявления (в минутах) указана цифрами около кривых.

Как видно из рисунка, эта зависимость оказалась линейной, т. е. такой же, как и в случае проявления серебряного изображения. Пересчет этих данных по описанному выше методу на значения относительных концентраций красителей привел к результатам, показанным на рис. 4. Как следует из рисунка, линейный характер зависимости цветного проявления от величины pH остается неизменным, независимо от того, выражаются эти результаты через величины монохроматических плотностей или же через концентрации красителей.

Аналогичные опыты были проделаны с негативной пленкой. На рис. 5 приведено семейство кривых спектрального поглощения 4-го поля сенситограмм негативной пленки, получившего количество освещения, равное 7 лк-сек. Сенситограммы проявляли в течение 6 мин. проявителем, имевшими pH от 9,1 до 11,3.

Рассмотрение кривых показывает, что при низких значениях pH за 4 мин. проявления образуются оптические плотности голубого красителя значительно большие, чем красителей среднего и верхнего слоев. Увеличение pH ускоряет образование пурпурной и желтой оптических



плотностей в большей мере, чем голубой, так что при  $pH = 11,3$  высоты максимумов поглощения для всех трех красителей почти уравниваются.

То, что плотность, создаваемая голубым красителем, при низких  $pH$  больше, чем плотности, создаваемые пурпурным и желтым красителями,

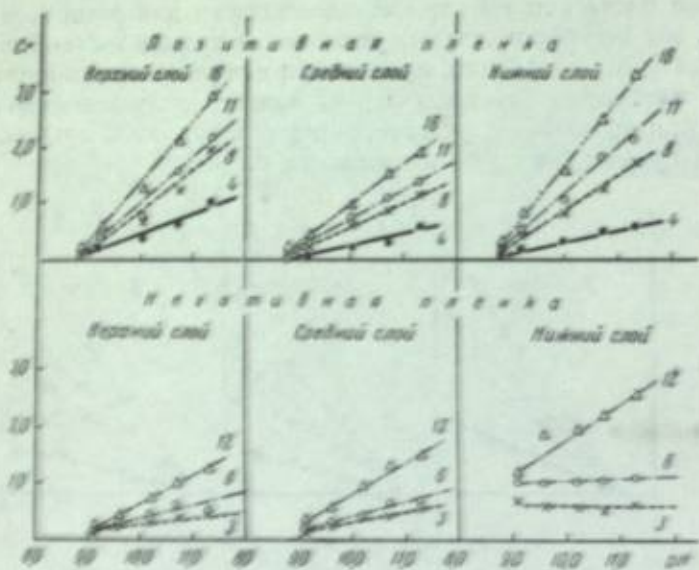


Рис. 4. Зависимость относительных концентраций красителей в слоях многослойных цветных пленок от  $pH$  проявителя.

ясно следует также из рис. 6, на котором изображены кривые спектрального поглощения, полученные на той же пленке и при тех же условиях освещения при  $pH = 9,1$ , но для различных продолжительностей проявления (6 и 12 мин.).

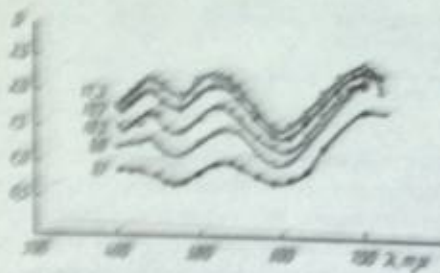


Рис. 5. Зависимость спектрального поглощения негативной цветной пленки от  $pH$  проявителя.

Условные обозначения:  $H = 7$  лк-сек. Продолжительность проявления 6 мин. Значения  $pH$  указаны цифрами около кривых.

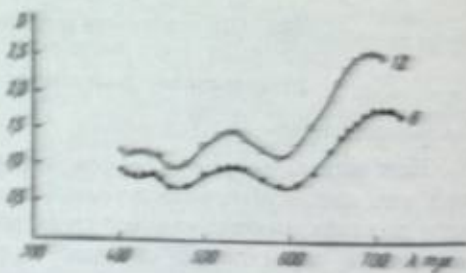


Рис. 6. Зависимость спектрального поглощения негативной цветной пленки от продолжительности проявления.

Количество освещения  $H = 7$  лк-сек.  $pH$  проявителя 9,1. Продолжительность проявления (в минутах) указана цифрами около кривых.

Наблюдаемое изменение плотностей для различных слоев (рис. 5) может быть объяснено различной скоростью образования красителей при различных  $pH$ , изменением коэффициентов поглощения красителей с изменением  $pH$  и различным выходом красителей по отношению к металлическому серебру. Предположение об изменении коэффициентов погло-

щения должно быть отброшено, так как оно означало бы, что желтый и пурпурный красители являются кислотными индикаторами. Предположение об изменении выхода красителей с изменением  $pH$  не согласуется с ливейностью зависимости  $C_r$  от  $pH$ . Такая зависимость означала бы, что стехиометрические коэффициенты реакции непрерывно изменяются, что маловероятно. Остается предположить, что причина наблюдаемых особенностей кинетики образования плотностей для различных слоев цветофотографических материалов заключается главным образом в различии применяемых для этих слоев эмульсий. Более подробно этот вопрос,

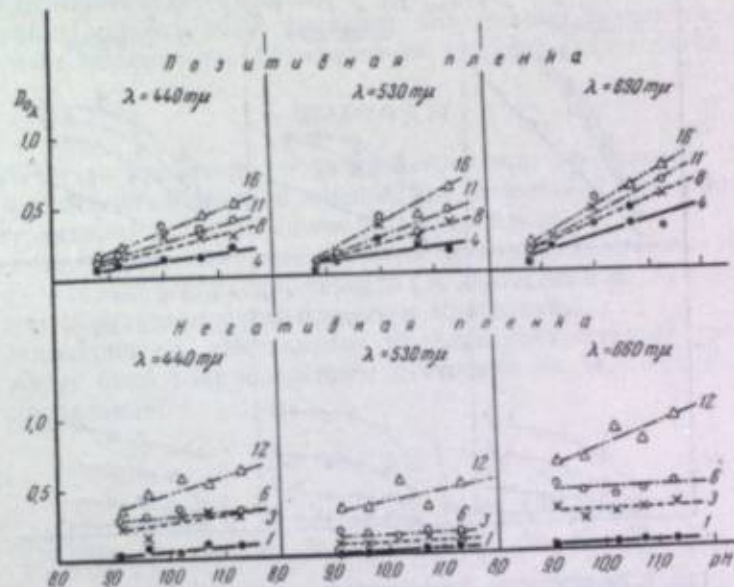


Рис. 7. Зависимость монохроматических плотностей вуали для негативной и позитивной цветных пленок от  $pH$  проявителя.

Продолжительность проявления (в минутах) указана цифрами около кривых.

как не относящийся непосредственно к теме исследования, нами не рассматривался.

Данные о зависимости от  $pH$  монохроматических плотностей 8-го поля сенситограмм негативной пленки для длин волн 440; 530 и 690  $m\mu$ , а также соответствующие данные для зависимости от  $pH$  относительных концентраций красителей в слоях пленки приведены на рис. 3 и 4. Из графиков видно, что и для негативной пленки эти зависимости изображаются прямыми линиями. Изменение плотностей вуали  $D_{\lambda}$  и коэффициентов контрастности ( $\gamma_{\lambda}$ ) в зависимости от  $pH$  для позитивной и негативной пленок приведены на рис. 7 и 8.

Анализ полученных данных показывает, что закономерности, наблюдаемые для зависимости от  $pH$  параметров характеристических кривых цветного изображения в слоях многослойной пленки, совершенно подобны закономерностям, наблюдавшимся для серебряного изображения.

Образование красителя при цветном проявлении является результатом двух реакций: 1) реакции восстановления ионов серебра проявляющим веществом, в результате которой образуется металлическое серебро и продукты окисления проявляющего вещества, и 2) реакции продуктов



окисления проявляющего вещества с введенной в эмульсионный слой цветной компонентой, в результате чего образуется краситель.

Количество цветной компоненты в эмульсионных слоях всегда является избыточным по сравнению со стехиометрически необходимым для реакции. Выше было показано, что количество образующихся красителей находится в линейной зависимости от pH проявителя, как и количество образующегося серебра. Это указывает на то, что скорость цветного проявления определяется преимущественно скоростью первой реакции, т. е. скоростью взаимодействия первичных продуктов окисления проявляющего

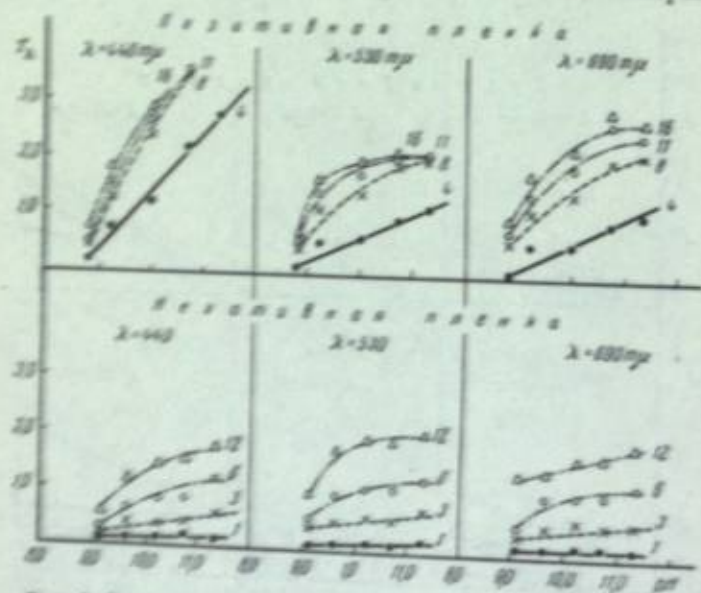


Рис. 8. Зависимость коэффициента контрастности слоев позитивной и негативной цветных пленок от pH проявителей. Продолжительность проявления (в минутах) указана цифрами около кривых.

вещества. Тот же вывод вытекает из анализа результатов, полученных В. А. Вейденбахом и Е. А. Карповичем [4] при исследовании зависимости результатов цветного проявления от концентрации проявляющего вещества в проявителе. Обнаруженная ими линейная зависимость относительных концентраций красителя в слоях многослойной цветной пленки от логарифма концентрации проявляющего вещества в проявителе, так же как и в нашем случае, в точности повторяет закономерность, известную для черно-белого проявления.

Таким образом, можно с достаточным основанием полагать, что, зная закономерности проявления эмульсий, применяемых для изготовления многослойных материалов, в условиях многослойного полива, и выход каждого из красителей по отношению к металлическому серебру, можно расчетным путем находить плотности при тех или иных условиях цветного проявления. Можно решить и обратную задачу: установить свойства эмульсий многослойной пленки, исходя из требований, предъявляемых к сочетанию количества красителей в проявленном изображении. В частности, по-видимому, к свойствам эмульсий многослойной пленки должно быть предъявлено требование одинаковости кинетики проявления эмульсий во всех трех слоях. При соблюдении этого условия не возникало бы

наблюдающегося в настоящее время нарушения баланса цветов при изменении времени или условий проявления.

Описанные совпадения закономерностей черно-белого и цветного проявления, как нам кажется, достаточно убедительно указывают на то, что общие принципы электрохимической теории процесса проявления серебряного изображения могут быть перенесены также на процесс цветного проявления. Последний является обычным процессом «химического» проявления и отличается только тем, что реакция «связывания» продуктов окисления проявляющего вещества осуществляется не сульфитом, как обычно, а присутствующей в эмульсии цветной компонентой. Скорость этой реакции, по-видимому, достаточно велика и существенным образом не отражается на результатах процесса в целом.

### ВЫВОДЫ

1. Количество красителя, образующегося при проявлении в каждом из слоев многослойной цветной пленки, как негативной, так и позитивной, возрастает линейно с увеличением pH проявителя.
2. При цветном проявлении имеется пропорциональность между количеством восстановившегося серебра в проявленном изображении и количеством образовавшегося при этом красителя.
3. Закономерности, вытекающие из электрохимической теории проявления, могут быть распространены не только на черно-белое, но и на цветное проявление.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Фаерман и Н. Н. Шинкина. ЖФХ, 1932, 3, 390.
2. ГОСТ 2817-45.
3. Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг. Настоящий сборник, стр. 85.
4. В. А. Вейденбах и Е. А. Карпович. Настоящий сборник, стр. 56.



И. Д. НЮБЕРГ, Г. С. БАРАНОВ и Н. С. ОВЕЧКИН

## СИСТЕМА СЕНСИТОМЕТРИИ ЦВЕТНЫХ КИНОФОТОМАТЕРИАЛОВ И ПРОЦЕССОВ

Хотя получение цветных изображений выдвигает, по сравнению с получением черно-белых, ряд новых задач, но система сенситометрии принципиально должна оставаться в обоих случаях той же самой, поскольку цветное изображение обычно составляется из нескольких, чаще всего трех, однокрасочных. Охарактеризовать цветное изображение, значит дать характеристики трем однокрасочным изображениям. Казалось бы, никакая специально «цветная» сенситометрия вообще не нужна. Однако существующая черно-белая система сенситометрических испытаний, как мы покажем, плохо приспособлена для решения ряда специально цветофотографических вопросов. Поэтому целесообразно, взяв за основу существующую систему сенситометрии, произвести ее обобщение, предусматривающее получение тех же сенситометрических данных разными путями, в том числе и такими, которые лучше приспособлены к задачам цветной фотографии. Это обобщение в равной мере могло бы быть применено не только к цветной, но и к черно-белой фотографии, и мы в дальнейшем будем рассматривать преимущественно задачу сенситометрической оценки отдельного однокрасочного (цветоделенного) изображения. Оценка многокрасочного изображения сводится к оценке составляющих его однокрасочных изображений.

Любая сенситометрическая задача всегда может быть в конечном итоге сведена к установлению связи между абсолютным спектральным составом света, действующего на некоторый светочувствительный слой, и величиной возникающего фотографического эффекта. Таким образом, решение сенситометрической задачи может считаться полным, если полученные в результате испытаний материала данные позволяют предсказать с требуемой точностью результат фотографического действия любого излучения, каков может встретиться при использовании этого материала.

Поскольку невозможно непосредственно, экспериментальным путем, определить фотографический эффект для любых излучений, произвольного состава и интенсивности, необходимо прежде всего выбрать определенную тест-излучения и найти величину фотографического действия для этих излучений экспериментальным путем. Для того чтобы система была полной, должны существовать формулы, позволяющие рассчитывать по данным испытаний фотографического эффекта для любых других излучений. Эти формулы могут быть рассчитаны на основании

Получение на графиках аналогичных данных в отношении спектрального

состава регистрируемых излучений. Повидно, что тест-излучения следует выбирать возможно более близкими по своим характеристикам к тем, для регистрации которых предназначен данный материал.

Существующая система черно-белой сенситометрии предусматривает в основном испытания двух родов: определение характеристической кривой и определение спектральной чувствительности. В первом случае для испытаний служит источник «белого» света постоянного относительного спектрального состава переменной интенсивности. Во втором случае определяются интенсивности монохроматического излучения, необходимые для получения определенной оптической плотности. Для указанных излучений фотографический эффект определяется прямым экспериментом.

Такая система является полной при условии справедливости принципа аддитивности. Тогда фотографический эффект для любого излучения со спектральным распределением  $I(\lambda)$  выразится формулой:

$$D = f \left\{ \int_0^{\infty} I(\lambda) S(\lambda) d\lambda \right\} = f(a), \quad (1)$$

где  $D$  — величина фотографического эффекта для излучения  $I(\lambda)$ ,  $S(\lambda)$  — спектральная чувствительность материала,  $f(a)$  — его характеристическая кривая. Таким образом, существующая система сенситометрических испытаний дает полное решение сенситометрической задачи в пределах справедливости формулы (1).

Излучения, с которыми приходится иметь дело в цветной фотографии, представляют собой всегда излучения с непрерывным спектром и с плавными кривыми спектрального распределения. Это имеет принципиальное значение, так как сама практика бессознательно приспособила существующие цветные процессы специально к воспроизведению цвета только таких излучений. В этом нетрудно убедиться, если представить себе, как воспроизводит существующие процессы, с одной стороны, белый с обычным непрерывным спектром, а с другой — всевозможные белые по цвету излучения, составленные из различных пар доволнительных по цвету монохроматических излучений. Даже без специального эксперимента ясно, что белые, составленные из двух монохроматических, воспроизводятся весьма различными цветами и с очень большими искажениями. Поэтому, рассматривая современные цветофотографические методы, мы не только можем, но и обязаны наложить определенные ограничения на спектральный состав фотографируемых излучений.

Монохроматические излучения, служащие тестами при определении спектральной чувствительности, как раз являются максимально отличающимися от тех, на которые рассчитываются существующие цветофотографические процессы. Поэтому сенситометрические характеристики, полученные при помощи таких излучений, будут неудобны для рассмотрения вопросов цветопередачи, совершенно не рассчитанной на такие излучения. Кроме того, нарушения аддитивности часто достигают таких размеров, что расчеты по формуле (1) для излучений сложного спектрального состава могут давать большие расхождения с опытом.

Поэтому мы считаем, что для сенситометрических испытаний тест-излучения следует выбирать из числа тех, на которые рассчитан материал, или возможно близкие к ним.

Другое необходимое дополнение черно-белой сенситометрии касается используемых сенситометрических величин. Мы считаем нужным различать величины двух родов:



1) характеризующие отдельные узлы или одноцветные изображения, для которых эти величины имеют размерности массы на единицу поверхности и определяют поверхностную концентрацию вещества, образующего изображение;

2) характеризующие фотографическое действие объектов съемки или печати на светочувствительный слой.

Величины второго рода можно условно приписать размерности энергии на единицу поверхности. Эти величины характеризуют активность действующего излучения. Активность измерится величиной энергии, отнесенной к единице поверхности излучения определенного спектрального состава (объема), имеющего на данном слое тот же фотографический эффект, что и данное излучение.

Величины активности обратной относительной активности мы называем эффективной плотностью фотографируемого (или копируемого) объекта. Величина эффективной плотности выражается оптической плотностью нейтрального поля, имеющего активность, равную активности объекта.

В черно-белой сенситометрии величины второго рода почти не имеют самостоятельного существования. Поскольку в черно-белой сенситометрии проводится изучение зависимости фотографического эффекта от интенсивности излучения при постоянном спектральном составе, понятие активности совпадает с пропорциональной ей величиной энергетической освещенности.

С другой стороны, при печати черно-белого изображения (например, гелиография), в силу практической неселективности поглощения диспергированного серебра, величина эффективной плотности совпадает с величиной оптической плотности, которая не зависит ни от состава копируемого света, ни от спектральной чувствительности материала. Эта плотность определяется поверхностной концентрацией серебра. Поэтому в черно-белой фотографии плотность негатива одновременно характеризует и поверхностную концентрацию светопоглощающего вещества, и эффективную плотность (логарифм относительной активности) при печати на любой светочувствительный слой<sup>1</sup>.

Если же светопоглощающее вещество селективно, как, например, в цветном негативе, то, во-первых, эффективные плотности не всегда пропорциональны поверхностным концентрациям, даже если красители удвоятся в зависимости от спектральной чувствительности слоя, на котором производится печать, и от спектрального состава копируемого света. Так, многослойный негатив может быть характеризован, с одной стороны, тремя плотностями отдельных слоев (поверхностными концентрациями красителей), безотносительно к условиям его дальнейшей обработки, а с другой — тремя эффективными («копируемыми») плотностями по отношению к трем слоям позитивной пленки. Эти последние величины определяются не только свойствами самого негатива, но и при фиксации этих условий и копируемого источника света. Хотя другие, эта связь не является простой пропорциональностью и указанные величины необходимо строго различать.

Для продолжения нашего обобщения вернемся к формуле (1), причем разобьем ее на две. Во-первых,

$$a = \int_0^{\infty} I(\lambda) S(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

что выражает активность излучения через его спектральный состав  $I(\lambda)$  и спектральную чувствительность материала  $S(\lambda)$ ; во-вторых,

$$D = f(a),$$

что выражает фотографический эффект (почернение) в зависимости от активности при помощи характеристической кривой  $f(a)$ .

Не связывая себя соблюдением принципа аддитивности и особенно включением в число тест-излучений монохроматических излучений, мы заменяем формулу (2) более общей:

$$a = A [I(\lambda)], \quad (3)$$

выражающей только тот факт, что активность зависит от спектрального состава и интенсивности излучения. Эта зависимость и должна быть найдена экспериментально.

Формула (1) раньше считалась универсальной, т. е. применимой к любым излучениям, однако, вследствие отклонений от принципа аддитивности, это положение не оправдалось. Для цветофотографических материалов зависимость коэффициента контрастности ( $\gamma$ ) может значительно изменяться в зависимости от длины волны, а спектральная чувствительность — от интенсивности. Вследствие этого остаются два пути: или еще более усложнить формулу (1), сообщив ей универсальность, или отказаться от универсальности с тем, чтобы получить для излучений того или иного типа достаточно надежные данные более простым способом. Мы пошли по второму пути, причем, как мы видим, система сенситометрии остается в принципе той же самой.

В более общем виде эта идея может быть выражена следующим образом. Определяя диапазон тех излучений, для которых предназначен процесс, мы можем, вместо того чтобы считать спектральный состав излучения произвольным, ограничиться семейством кривых спектрального распределения, зависящим от известного числа параметров, возможно меньшего. Тогда активность излучения будет некоторой функцией от этих параметров, подлежащей определению. При достаточно удачном выборе накладываемых ограничений и параметров, через которые выражаются спектральные кривые, можно добиться и того, чтобы число параметров было невелико и чтобы формулы были возможно более просты.

Рассмотрим некоторые конкретные примеры. Допустим, что подлежит испытанию многослойная позитивная пленка. Такая пленка предназначена исключительно для копирования на ней многослойных негативов. Все излучения, для которых эта пленка предназначена, ограничиваются светом копируемого источника, прошедшего через ту или иную комбинацию трех негативных красителей. Взяв поверхностные концентрации этих красителей  $u$ ,  $v$  и  $w$  в качестве трех параметров, мы сводим весь вопрос к изучению зависимости активности копируемого света от поверхностных концентраций трех красителей в копируемом негативе или, иначе говоря, к определению зависимости от последних эффективных

<sup>1</sup> Исключения составляют негативы, полученные на мелкозернистых кинофото материалах, а также негативы на обычных материалах, но проявленные в окрашивающих проявителях, например в таких, как пирогаллоловые и пирокатехиновые с малым количеством сульфата натрия.



плотностей цветного негатива, определенных для позитивной пленки.

$$D_{\text{эф}} = f(a) = \lg \frac{a_{\text{кр}}}{a_{\text{сер}}} = \varphi(u, v, w),$$

где  $a_{\text{кр}}$  и  $a_{\text{сер}}$  — активности соответственно цветного объекта и изоактивного ему серого поля.

В целях разработки метода сенситометрических испытаний производственного типа в НИКФИ изучался характер этой зависимости. При этом было обнаружено, что, для решения определенного круга вопросов с достаточной точностью, зависимость эффективной плотности в отношении каждого из трех слоев позитивной пленки от поверхностных концентраций трех красителей в копируемом негативе может считаться линейной:

$$D_{\text{эф}} = \delta_1 u + \delta_2 v + \delta_3 w. \quad (4)$$

Эта формула, конечно, приближенная, и соответствует положению об аддитивности эффективных (копируемых) плотностей, которое широко используется в практической работе, например при подборе фильтров для печати, в особенности форфильтров. Формула отличается простотой и во многих случаях достаточной точностью, хотя можно предложить и более точные формулы. В пределах применимости формулы (4) задача испытания материалов сводится к отысканию соответствующих коэффициентов  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\delta_3$ .

Коэффициенты уравнения (4) или параметры более сложных и точных формул, очевидно, удобнее всего находить, определяя экспериментально величину фотографического эффекта при печати на испытуемый слой образцов с известным содержанием негативных красителей  $u$ ,  $v$  и  $w$ . В таких испытаниях тест-излучениями является свет копируемого источника, прошедший через пленку, содержащую негативные красители, т. е. тест-излучениями являются излучения сложного спектрального состава. Аналогичное рассуждение можно распространить и на негативную пленку. Правда, в этом случае действующие излучения могут быть значительно более разнообразны, однако известно [1], что кривые отражения объектов природы в большинстве случаев можно удачно приближенно воспроизвести кривыми пропускания тождественных по цвету комбинаций трех позитивных красителей, после чего вопрос съемки сводится к вопросу как бы копировки, но уже многослойного позитивного изображения на негативную пленку. По этому поводу, естественно, может возникнуть вопрос, каков смысл замены объекта съемки эквивалентными по цвету комбинациями позитивных красителей? Дело в том, что цветоделение, осуществляемое при съемке, нельзя рассматривать изолированно от свойств тех красителей, из которых в конечном итоге должно складываться конечное цветное изображение. Для различных триад позитивных красителей их дозировка при воспроизведении того же самого цвета, очевидно, различна. Указанный прием и состоит в оценке цветоделения при съемке не вообще, что лишено смысла, а в расчете на те красители, которыми будет осуществлено цветное изображение.

Для задач, наиболее актуальных в настоящее время, точность этих простых формул совершенно достаточна. В случае необходимости формулы могут быть уточнены, однако всякие уточнения неминуемо связаны с усложнением испытаний и расчетных формул.

Эти два примера показывают, что по крайней мере в известных случаях использование для испытания материалов правильно выбранных

излучений сложного спектрального состава представляет несомненные выгоды. Хотя сделанные предложения чрезвычайно разнообразят возможные приемы сенситометрических испытаний, они все укладываются, включая существующую, в одну общую схему, непосредственно следующую из формул (2) и (3).

В соответствии со всем изложенным выше, общая система сенситометрических испытаний представляется нам в следующем виде.

Испытания любых материалов или процессов могут быть двух родов:

1. Градационные испытания, имеющие целью определение зависимости фотографического эффекта от активности действующего излучения (характеристическая кривая):  $D = f(a)$ . Для проведения таких испытаний может служить любая последовательность излучений заведомо различных активностей в отношении исследуемого светочувствительного слоя. В простейшем случае таковыми может быть ряд излучений постоянного относительного спектрального состава переменной интенсивности (серая шкала).

2. Цветоделительные испытания имеют целью определение активностей для излучений, не используемых в градационных испытаниях:  $a = A(I(\lambda))$ . В этих испытаниях (как, в частности, при определении спектральной чувствительности) величина фотографического эффекта не измеряется, а лишь констатируется равенство фотографических эффектов, т. е. равенство почернений. Объектом измерения является активность, определяемая как интенсивность белого излучения, дающего тот же фотографический эффект, что и данное. Поэтому цветоделительные испытания не зависят от вида характеристической кривой и, таким образом, не зависят от градационных испытаний. Для проведения цветоделительных испытаний могут быть использованы любые излучения, не используемые в градационных испытаниях. Однако каждый раз их следует выбирать так, чтобы при минимальном числе опытов дать возможность просто и достаточно точно рассчитывать активность для тех излучений, регистрировать которые предназначен данный материал. Излучения для цветоделительных испытаний целесообразно выбирать в разных случаях разные, однако всегда возможно более близкие по характеру спектральной кривой к тем, для которых предназначен материал или процесс. В частности, как было показано, удобно брать

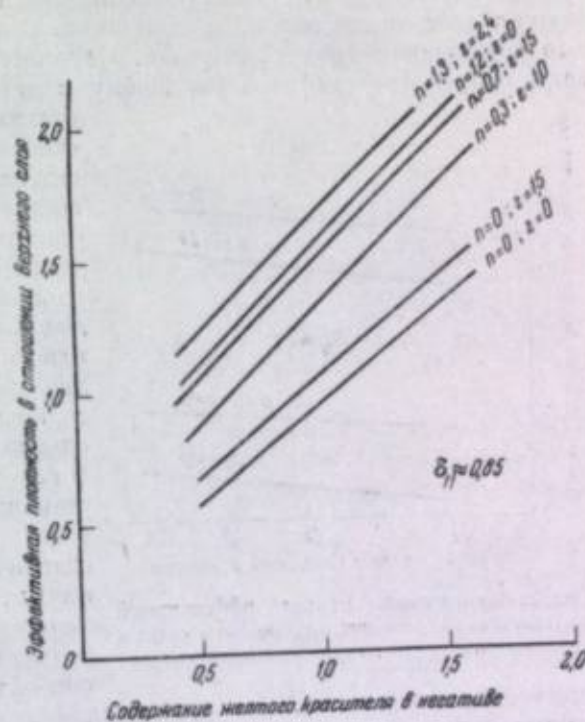


Рис. 1. Зависимость между эффективной плотностью в отношении верхнего слоя и содержанием желтого красителя в негативе.



для этой цели те излучения, с помощью которых объект съемки воспроизводится на окончательном цветном изображении.

В развитие этих идей нами разработаны приемы сенситометрического контроля многослойных материалов. Здесь мы коснемся только работы по исследованию цветоделительных свойств этих материалов и принципов практического их испытания.

Исследования для многослойной позитивной и негативной пленок были проведены в НИКФИ. Излучениями для цветоделительных испытаний служил свет копировального источника, прошедший через всевозможные комбинации трех красителей. Параллельно всякий раз экспонировали серую фотографическую шкалу с заранее измеренными полями, отпечатки которой сравнивали с отпечатками комбинаций трех красителей. Каждый отдельный тест состоял из ступенчатого клина

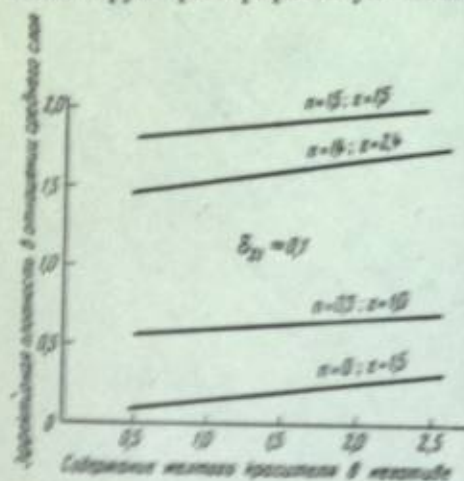


Рис. 2. Зависимость между эффективной плотностью в отношении среднего слоя и содержанием желтого красителя в негативе.

в отношении нижнего слоя, а при испытании негативной пленки — из позитивных.

Полученные в результате копирования на многослойном материале изображения указанных тестов, а также одновременно экспонированные и проявленные изображения серебряного клина промеряли на спектрофотометре в трех длинах волны, что позволяло определить на полученном изображении поверхностные концентрации красителя в каждом слое испытываемой пленки в отдельности.

Активность или эффективные плотности для полей цветных клиньев определяются следующим образом. Экспонирование серого серебряного клина дает возможность построить три характеристические кривые отдельных слоев. Количества трех красителей, образующиеся в результате экспонирования цветных клиньев, позволяют найти по соответствующим характеристическим кривым те плотности серебряного клина (изоактивная серия плотностей), которые дают при экспонировании тот же выход красителя в данном слое, что и цветное поле. Найденная плотность серого и есть эффективная плотность (логарифм обратной относительной интенсивности) поля цветного клина в отношении соответствующего слоя пленки, на которую производится копирование.

Результаты подобных определений представлены в виде графиков (рис. 1—4). На оси абсцисс отложены величины ( $d_{\max}$ ), характеризующие количество того из красителей, которое в данном клине является пере-

менным, а количество третьего изменялось, образуя клин. При испытании позитивной пленки тест-объекты готовили из

поля клина, содержащего, как правило, также два других красителя в количествах, постоянных для всех полей данного клина. Всего получалось девять таких графиков, характеризующих влияние каждого из трех красителей в копируемом образце на эффективную (копировальную) плотность в отношении каждого из трех слоев испытываемой пленки. При печати того же однокрасочного клина с добавлением различных равномерных плотностей для других красителей получалась целая серия кривых, соответствующих изменению в копируемой смеси одного из красителей при различных комбинациях двух других (рис. 1—4).

Этим путем могло быть подробно изучено влияние каждого из трех красителей в копируемой смеси на ее эффективную плотность в отношении каждого из слоев пленки, на которую производится печать. Такая работа проводилась на нескольких различных образцах пленок.

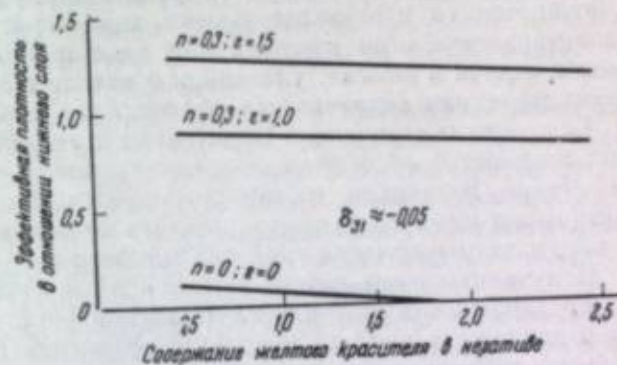


Рис. 3. Зависимость между эффективной плотностью в отношении нижнего слоя и содержанием желтого красителя в негативе.

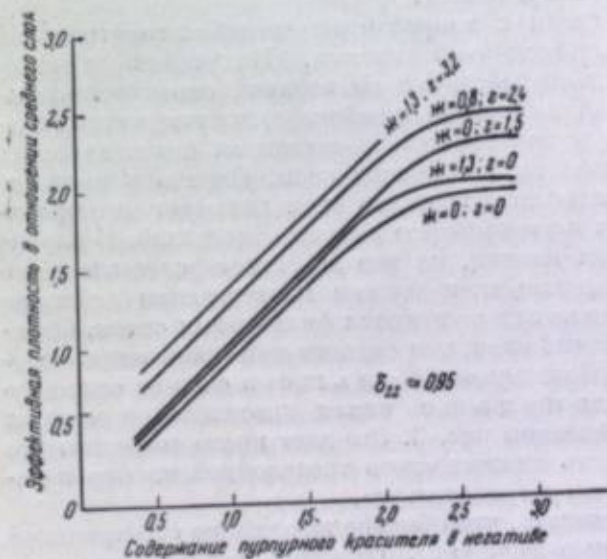


Рис. 4. Зависимость между эффективной плотностью в отношении среднего слоя и содержанием пурпурного красителя в негативе.

Коэффициенты  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  в этом уравнении, как легко видеть, выражают собой прирост эффективной плотности на единицу количества каждого из красителей в копируемой смеси. Графически эти величины выражают тангенс угла наклона кривых, которые мы заменяем параллельными

Если бы соблюдался принцип аддитивности плотностей, т. е. равенство эффективной плотности суммы красителей сумме их эффективных плотностей, то полученные кривые были бы прямолинейны и параллельны друг другу. Из приводимых графиков видно, в какой мере это соблюдается. Замена эти кривые параллельными прямыми, можно найти коэффициенты уравнений (4). Для решения наиболее актуальных задач это приближение оказывается достаточным, но на основании тех же данных можно предложить и более точные формулы.



прямыми. Эти коэффициенты можно назвать «удельными эффективными плотностями» красителей в отношении данного слоя.

Для испытуемой трехслойной пленки мы будем иметь три уравнения вида (4) по одному для каждого из трех ее слоев. Девять коэффициентов этих уравнений при испытаниях пленки определяются экспериментально и являются ее цветоделительными характеристиками. Вместе с тремя характеристическими кривыми они дают полное решение сенситометрической задачи в смысле, указанном в начале статьи, и в пределах соблюдения принципа аддитивности эффективных плотностей.

Если для поставленной практической задачи аддитивность эффективных плотностей соблюдается достаточно точно, то для цветоделительных испытаний материала достаточно определения коэффициентов уравнения (4) для каждого из трех слоев, что можно сделать достаточно просто, копируя на испытуемый слой три цветных и один серый клин.

Полученные нами данные имеют одну интересную особенность. При копировании желтого клина на многослойную пленку (рис. 3) с возрастанием количества желтого красителя эффективная плотность в отношении среднего и нижнего слоев не только не возрастает, но заметно падает, что приводит к выводу, что эффективная плотность желтого красителя в отношении этих слоев «отрицательна». Это объясняется так называемым вертикальным эффектом проявления. Увеличение количества желтого красителя в копируемой смеси резко уменьшает экспозицию верхнего слоя, почти не изменяя ее для двух других. В процессе проявления на тех участках, где в верхнем слое образуется большая плотность, два нижних слоя недопроявляются. Там, где в копируемой смеси было много желтого красителя, плотность верхнего слоя резко уменьшается, а потому плотности нижних слоев увеличиваются.

Это имеет значение в связи с вопросом определения спектральной чувствительности слоев многослойной пленки. Излучения коротковолновой части спектра сильно действуют на верхний синечувствительный слой, но если фильтровой слой не имеет дефектов, эти излучения сильно поглощаются им и при практически встречающихся интенсивностях не оказывают заметного действия на нижние слои. Однако в процессе проявления сильное экспонирование верхнего слоя вызывает недопроявление нижних и ведет в них к уменьшению выхода красителей. В случае практического использования пленки, на нее действует свет сложного спектрального состава и нижние слои пленки подвергаются действию света тех длин волн, которые не задерживаются фильтровым слоем. Однако чем сильнее засвечен верхний слой, тем сильнее при проявлении недопроявляются нижние слои. Поэтому чем больше в составе сложного излучения синих лучей, тем меньше выход красителей в нижних слоях, что и видно на приведенном рис. 3. Это дает право говорить, что спектральная чувствительность нижних слоев трехслойной пленки в коротковолновой части спектра «отрицательна».

В силу этого мы можем сказать, что обычное выражение спектральной чувствительности с помощью величины, обратной величине энергии монохроматического излучения, дающего заданную плотность (например 1,0), теряет смысл для нижних слоев трехслойной пленки в коротковолновой части спектра. При сколько-нибудь нормальных интенсивностях коротковолновые излучения не могут дать в нижних слоях таких плотностей. Наоборот, пока под их действием плотность верхнего слоя еще продолжает возрастать, плотность в нижних слоях будет падать с увеличением интенсивности монохроматического синего света ниже вуали, что неоднократно и наблюдалось. Только после того как в верхнем слое начнется

соляризация, могут начать возрастать плотности нижних слоев. Таким образом, плотности, по которым определяется спектральная чувствительность при действии на пленку коротковолновых излучений, могут быть достигнуты в нижних слоях не ранее, чем энергия излучений далеко превысит то, что может встретиться в нормальных условиях использования пленки. Величина, обратная этой энергии, не может иметь, очевидно, никакого практического значения.

Кроме того, влияние вертикального эффекта проявления имеет значение и для других слоев, хотя там дело и не доходит до отрицательных значений. Несомненно, свет, сильно действующий на один из слоев, тем самым косвенно через недопроявление уменьшает выход красителя в других слоях. Отсюда вытекает, что спектральная чувствительность, определенная для слоев многослойной пленки, может заметно отличаться от таковой для таких же слоев, испытанных раздельно.

Сравнение различных многослойных пленок показало, что в некоторых случаях, вследствие, очевидно, недостатков сенсibilизации или фильтрового слоя, цветоделительные характеристики материалов могут несколько колебаться, что в наших испытаниях сказывается на изменении наклона получаемых кривых. Так как наклон кривых непосредственно определяет величину «удельной эффективной» плотности, т. е. степень выкопировки каждого красителя в отношении одного из слоев, то по этим кривым много легче судить о допустимости тех или иных отклонений от нормы, чем по сенситограммам.

В следующей нашей статье этого сборника (стр. 134) показано, как знание «удельных эффективных плотностей» позволяет указать разнообразные, наблюдаемые на практике искажения цветопередачи и вскрыть их причины. Сделать это, не накладывая никаких ограничений на характер спектрального распределения фотографируемых излучений, по уже указанным выше причинам принципиально невозможно. Именно это и является основным и решающим аргументом, делающим необходимым более широкую постановку вопроса о методах цветной сенситометрии.

Выше уже указывалось, что для оценки негативного материала мы применили методы, аналогичные оценке многослойной позитивной пленки, исходя из расчета, что любой из обычно встречаемых объектов съемки будет фотографироваться так же, как идентичная ему по цвету комбинация позитивных красителей. При такой постановке вопроса как объекты съемки, так и готовое изображение характеризуются одинаково — через количество трех позитивных красителей. Это позволяет выражать все цветовые искажения в виде избытков или недостатков трех красок на изображении по сравнению с тем, какое требуется. Выраженные в такой форме цветовые искажения особенно легко связываются с теми или иными особенностями проводимого процесса.

Однако замена реальных объектов съемки комбинациями трех красителей может вызвать известные сомнения. Мы основывались на том положении, что одинаковые по цвету излучения снимаемых объектов практически являются и фотографически одинаковыми. Правда, возможно создать такие светочувствительные слои, которые удовлетворяют этому условию для излучения совершенно произвольного спектрального состава [1]. Однако для этого требуются очень широкие зоны сенсibilизации, которые обеспечивают хотя и одинаковое, но, к сожалению, одинаково плохое воспроизведение любых излучений, одинаковых по цвету. На практике применяется более селективная чувствительность, обеспечивающая лучшую цветопередачу для излучений с плавными кривыми. В этом случае те же об одинаковом воспроизведении излучений, одинаковых по цвету, все



же не должен заметно нарушаться, по крайней мере для тех излучений, которые могут встретиться при съемке, что для практически применяемых процессов и выполняется. Излучения со спектральным составом, соответствующим различным комбинациям трех красителей, нет основания исключать из числа возможных объектов съемки, а потому наше допущение достаточно оправдывается. Все же может встретиться необходимость в проверке его в тех или иных конкретных случаях. Для этого, очевидно, необходимо проводить какие-то цветоделительные испытания с более широким кругом излучений, но обязательно из числа тех, которые могут встретиться среди объектов съемки. По нашим данным, обычно в этом нет нужды, а потому на таких испытаниях мы останавливаться не будем, отметим только, что и они могут быть включены в общую систему испытаний.

В заключение упомянем о задачах, возникающих в связи с использованием более чем трех красящих веществ, например при использовании черного серебряного изображения. В этом случае можно теми же методами, о которых говорилось выше, изучать зависимость плотности черного изображения от спектрального состава действующего света. При этом может возникнуть вопрос: как измерить плотность черного изображения в готовой многоцветной репродукции. Этот вопрос — чисто технический, не представляющий никаких принципиальных трудностей, мы здесь разбирать его не будем. Значительно более сложным является вопрос: как это черное изображение влияет на визуально оцениваемое качество цветного изображения? Этот вопрос не относится к теме настоящей статьи, он затронут в другой статье настоящего сборника [2].

Мы почти не затрагивали вопросов о градационных испытаниях, потому что в этой области предлагаемая система не вносит почти ничего нового. Отметим только, что к градационным характеристикам цветных материалов и процессов мы относим не только форму характеристических кривых отдельных слоев, но и взаимоотношения этих характеристик между собой, т. е. все вопросы баланса. Вообще говоря, градационными факторами являются все факторы, от которых зависит воспроизведение градационной (серой) шкалы, цветоделение же устанавливает связь между воспроизведением цветов этой шкалы с воспроизведением цветов, не входящих в нее.

Подводя итоги сказанному, можно следующим образом сформулировать систему общей сенситометрии, включающую в себя и обычную черно-белую сенситометрию:

1. Общая задача сенситометрии заключается в установлении связи спектрального состава и интенсивности действующего света с фотографическим эффектом в данном процессе для любых излучений, для которых данный процесс предназначен.

2. Различные способы решения этой задачи отличаются друг от друга:

а) выбором тех излучений, для которых величина фотографического действия определяется прямым экспериментом;

б) принятием тех или иных закономерностей, позволяющих рассчитать фотографическое действие для остальных излучений;

в) ограничениями, накладываемыми на излучения, для регистрации которых предназначается данный процесс; эти ограничения тесно связаны с пределами годности закономерностей, используемых для расчета. Тест-излучения следует выбирать так, чтобы они были возможно ближе по спектральному составу к тем, на которые рассчитан процесс.

3. Все сенситометрические данные, полученные как прямым экспериментом, так и путем расчета, разделяются на градационные, характери-

зующие зависимость величины фотографического эффекта от активности действующего излучения, и цветоделительные, характеризующие зависимость активности от физической характеристики действующего света. Последние не требуют измерения величин фотографического эффекта, а основаны только на установлении их равенства, поэтому они практически не зависят от условий обработки и определяются только свойствами самого материала.

Эти положения являются общими, определяющими всю сенситометрическую систему.

4. Для цветных процессов, предназначенных воспроизводить цвета несветящихся объектов, освещенных источником с непрерывным спектром, мы предлагаем использовать частную сенситометрическую систему, входящую в изложенную общую.

5. В этой частной системе предлагается характеризовать цвета объектов съемки количествами трех красителей позитива, необходимых для точного воспроизведения цветов объектов. Тест-излучения состоят из серой или иной градационной шкалы и различных комбинаций позитивных красителей. Принимая допущение, что в пределах указанных ограничений излучения, одинаковые по цвету, фотографируются одинаково, полное решение цветоделительной задачи сводится к определению для каждого слоя активности, как функции трех переменных, одновременно характеризующих цвет снимаемого объекта (субтрактивные координаты). Если принять принцип аддитивности эффективных (копируемых) плотностей, то зависимость может быть сведена к линейной, а цветоделительные испытания — к нахождению для каждого слоя трех чисел: «удельных эффективных плотностей» трех красителей (всего для трех слоев — девяти чисел).

Этот же прием еще с большим правом может быть применен в том случае, когда, как и при копировке многослойного негатива, объект съемки на самом деле состоит из различных комбинаций всего только трех красителей.

Указанная частная система сенситометрических испытаний представляет значительные удобства, но общая система сенситометрии не исключает возможности других методов решения той же задачи путем иного выбора тест-излучений и иных закономерностей для расчетов. Повидимому, любые из возможных методов сводятся к изображению реальных кривых спектрального распределения фотографируемых излучений семейством кривых, зависящим от ограниченного числа параметров. Иную частную систему сенситометрических испытаний, входящую в изложенную общую, можно построить на основе зональной системы Н. С. Овечкиса, которой посвящена отдельная статья в настоящем сборнике (стр. 156).

6. Если соблюдается принцип аддитивности, выражающийся формулой (1), т. е. если при помощи кривой спектральной чувствительности можно рассчитать действие света сложного спектрального состава, то в этих случаях, экспериментально определив действие на слой ряда излучений сложного спектрального состава, если этот спектральный состав известен, можно, используя ту же формулу (1), решить и обратную задачу, т. е. рассчитать действие на слой монохроматических излучений. Иначе говоря, на основании исследования действия излучений сложного спектрального состава можно определить спектральную чувствительность материала. Способ ее определения описан в статье [3].

Конечно, при расчете действия на слой монохроматических излучений, из данных о действии света сложного спектрального состава, получаются, как правило, результаты менее точные, чем прямое эксперимен-



тальное определение, особенно если аддитивность соблюдается не вполне точно. Однако в этом последнем случае полученная функция спектральной чувствительности, подставленная в формулу (1), должна будет давать для излучений, близких по спектральному составу к тем, по которым она определялась, результаты, более точные, чем при получении ее из данных о действии на слой более далеких излучений. Поэтому даже если поставить задачу определения спектральной чувствительности, то высказанный выше принцип, что тест-излучения должны быть возможно близкими к тем, для которых предназначен материал, и здесь сохраняет свою силу. С общетеоретической точки зрения использование для испытания материалов излучений сложного спектрального состава несколько не менее обосновано, чем использование монохроматических.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Д. Ньюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Советская наука», 1948.
2. Н. Д. Ньюберг. Настоящий сборник, стр. 134.
3. Н. Д. Ньюберг. О возможности приближенного спектрофотометрирования без разложения в спектр. ДАН СССР, 1934, IV, № 5—6.

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

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕНСИТОМЕТРИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

### I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 1. Введение

Основным методом цветной фотографии в настоящее время является субтрактивный метод, основанный на использовании многослойных материалов с цветным проявлением. Многообразие цветов, воспроизводимых многослойным цветофотографическим материалом, определяется многообразием соотношений трех красителей, образующихся в трех элементарных слоях этого материала, причем каждый цвет в фотографическом изображении осуществляется одним и только одним сочетанием концентраций этих красителей.

С точки зрения воспроизведения цветов процесс цветной фотографии может быть расчленен на три в известной мере независимые стадии [1]. Первая стадия, называемая аналитическим процессом, или процессом цветоделения, заключается в действии излучений, посылаемых объектом фотографирования на элементарные слои цветофотографического материала, и определяется степенью различия спектрального распределения светочувствительности этих слоев. Получение каждого цветного поля посредством определенного сочетания некоторых, не зависящих друг от друга количеств трех красителей, называется синтезическим процессом и является заключительной стадией процесса цветной фотографии. Эта стадия определяется формой спектральных кривых поглощения красителей позитива, которые должны находиться в надлежащем соответствии со спектральным распределением светочувствительности элементарных слоев негативного материала. Между этими двумя стадиями процесса лежит промежуточная стадия, называемая градационным процессом, назначением которой является осуществление надлежащей количественной связи между величинами фотоактивных потоков<sup>1</sup>, действующих на тот или иной слой цветофото-

<sup>1</sup> Фотоактивным потоком мы будем называть поток излучения, оцениваемый по его фотографическому действию. Если излучение сложного спектрального состава ( $\Phi_\lambda$ ) действует на фотографический слой с определенным спектральным распределением светочувствительности ( $S_\lambda$ ) и если соблюдается правило аддитивности, для чего необходимо, чтобы коэффициент контрастности слоя не зависел от длины волны, то фотоактивный поток

$$A = \int_0^{\infty} \Phi_\lambda S_\lambda d\lambda.$$



графического материала при его экспонировании, и количествами образующихся в этих слоях красителей. В то время как при осуществлении аналитического и синтетического процессов руководствуются главным образом чисто колориметрическими соображениями, причем элементы фотографического процесса играют здесь только вспомогательную роль, градационный процесс осуществляется чисто фотографическими средствами, которые оцениваются сенситометрически.

Для полного суждения о возможностях воспроизведения всего многообразия цветов средствами цветной фотографии необходимо знание и количественный учет всех трех стадий процесса, т. е. использование представлений и измерительных средств и колориметрии и фотографической сенситометрии. Однако для каждого конкретного цветофотографического метода аналитический и синтетический процессы являются довольно устойчивыми: спектральные кривые светочувствительности и поглощения мало зависят от условий проведения фотографического процесса. Между тем градационный процесс, в силу особенностей технологии производства цветофотографических материалов, их химической обработки, техники съемки и печати, является весьма изменчивым. Поэтому для контроля цветофотографического процесса с данными сенсibiliзирующими красителями в слоях, данными цветными компонентами и данным проявителем особенно необходима разработка методов сенситометрии и изучение сенситометрических свойств применяемых материалов. Этот круг физико-сенситометрических вопросов и рассматривается в данной и в последующих статьях.

Особенности строения цветофотографического материала определяют особенности его фотографических свойств. Поскольку, в отличие от черно-белых материалов, здесь фотографический процесс протекает в трех независимых друг от друга<sup>1</sup> слоях, свойства цветофотографического материала должны характеризоваться не одной, а тремя характеристическими кривыми, тремя кривыми спектральной чувствительности и т. д.

## 2. Общие требования к системе сенситометрии многослойных цветофотографических материалов

Из сказанного следует, что система сенситометрических испытаний многослойных цветофотографических материалов не может быть такой же, как система испытаний черно-белых материалов. Установлению такой системы должно предшествовать экспериментальное решение двух больших задач. Во-первых, должно быть выяснено, что является общим в сенситометрических свойствах цветных и черно-белых материалов. Общих признаков имеется, несомненно, весьма много, поскольку основные фотохимические (образование скрытого фотографического изображения) и электрохимические (фотографическое проявление) процессы, протекающие в эмульсионных слоях тех и других материалов, в принципе одинаковы. Во-вторых, должно быть установлено, какие специфические различия существуют в сенситометрических свойствах цветных и черно-белых материалов, каковы особенности цветного процесса, отсутствующие или слабо выраженные в черно-белом процессе.

На основе решения этих задач может быть создана система сенситометрических испытаний цветофотографических материалов, в которой

<sup>1</sup> Строго говоря, количества красителей, возникающих в трех элементарных слоях, не вполне независимы друг от друга. Однако этим фактом, рассматриваемым в статье Д. К. Балабуха и Ю. Н. Горюховского [2], мы пока пренебрегаем.

максимально используются приемы сенситометрии черно-белых материалов, но в которую введен ряд новых, специфических для цветофотографических материалов приемов. Если идти по этому пути, то можно надеяться достичь безусловно желательного в дальнейшем единства испытаний и форм оценок свойств всех фотографических материалов. Для двух отраслей фототехники — черно-белой и цветной, которые становятся в настоящее время равноправными, должен существовать единый метод количественных оценок. Представляется рациональной следующая, однотипная с сенситометрией черно-белых материалов<sup>1</sup> схема построения сенситометрии многослойных цветофотографических материалов: 1) интегральная сенситометрия, 2) спектральная и цветоделительная сенситометрия, 3) учение о структурных свойствах и 4) теория цветовоспроизведения.

## 3. Особенности сенситометрического экспонирования многослойных материалов

При сенситометрическом экспонировании цветофотографических материалов особое значение имеет спектральный состав действующего излучения. Изменение его в случае черно-белых материалов может привести лишь к изменению количества образующегося металлического серебра; в случае же цветофотографического материала происходит изменение соотношения количеств трех красителей, т. е. качественно изменяется общий фотографический эффект — цвет изображения. Отсюда вытекают значительно более строгие, чем в сенситометрии черно-белых материалов, требования к спектральному составу излучения сенситометрического источника света в отношении соответствия его спектральному составу излучения, используемого при практическом фотографировании, и к спектральной неизбирательности устройства, осуществляющего шкалу освещенности.

В силу первого обстоятельства при лабораторных испытаниях часто используют не обычные сенситометрические источники света, а источники, применяемые при практическом фотографировании (например, в случае испытания негативных киноплёнок — мощные дуги интенсивного горения).

Таблица 1

Относительные значения постоянных сенситометрических кривых для отдельных элементарных слоев негативного цветофотографического материала

Материал или пленка	Постоянная или пленка		
	Верхний элементарный слой	Средний элементарный слой	Нижний элементарный слой
Нейтрально-серое стекло HC-8 . . .	1,29	1,00	1,04
Графит в желатине .	1,10	1,00	0,95
Серебро фотографического слоя . . .	1,05	1,00	0,95

<sup>1</sup> См. ГОСТ 2653-44 на основные понятия и величины фотографической сенситометрии.



Второе обстоятельство заставляет принять не вполне удовлетворительными обычно применяемые в сенситометрах сарые оптические клинья, в частности изготовленные из коллоидного графита.

В табл. 1 приведены вычисленные на основании спектрофотометрических и спектросенситометрических [5] данных постоянные клиньев из графита, серебра и ингушского из существующих нейтрально-серых стекол для каждого из элементарных слоев негативного цветофотографического материала. Значения постоянных даны в относительных величинах, причем значения для среднего элементарного слоя приняты за единицу.

Наилучшим решением вопроса о спектрально-избирательном устройстве для осуществления широкого освещения является применение сенситометрического принципа ослабления света. Могут быть рекомендованы, например, следующие способы реализации этого принципа. Во-первых, это так называемое устройство с оптической системой, в параллельном луче которой находится геометрически ограниченный лучик, регулирующие освещенность и плотность слоя. Такой системой могут быть две сфокусированные объективы, из которых первый возбуждает сенситометрический источник света и зрение второго, а этот последний проецирует зрительный объектив на эмульсионный фотосенситивный слой. Между двумя доминирующими объективами располагается выборка поперечных слоев для взаимодействия с объективами, являющаяся дифракция переменной периодичности и т. д. Во-вторых, можно применять камеру, разделенную параллельными непрозрачными перегородками на ряд плоских отделений, каждое из которых с узкой щелевой стороной, обращенной к источнику света, закрыто матовым стеклом и диафрагмой с одним или несколькими отверстиями той или иной площади [6]. Если стенки камеры с этими матовыми стеклами освещены равномерно, то освещенности на противоположной стенке, где помещают эмульсионный материал, будут пропорциональны площадям отверстий диафрагм.

#### 4. Особенности денситометрии цветных полей

В черно-белой фотографии мерой фотографического эффекта может служить либо поверхностная концентрация металлического серебра в почернении — количественная оценка химической стороны явления, либо оптическая плотность почернения — количественная оценка оптической стороны явления. Связь между этими двумя мерами устанавливается при помощи понятия фотометрического эквивалента. В цветной фотографии фотографический эффект может быть оценен также тремя принципиально различными способами. Из них два, рассматриваемые ниже подробно, в известной мере аналогичны двум способам оценки, принятым в черно-белой фотографии.

Условимся называть цветным полем однородный в отношении оптических свойств участок проявленного цветофотографического материала. Мерой фотографического эффекта на таком цветном поле могут являться или поверхностные концентрации трех красителей, образующихся в трех элементарных слоях, или эффективные оптические плотности<sup>1</sup> цветного

<sup>1</sup> Эффективной оптической плотностью, согласно ГОСТ 2653-44, называется «оптическая плотность почернения, отвечающая практическому его использованию в данных условиях», что в нашем случае цветного поля выражается величиной  $\lg \frac{A_0}{A}$ , где  $A_0$  — фотоактивный поток, соответствующий случаю, когда на пути луча не имеется цветного поля, а  $A$  соответствует тому случаю, когда оно введено.

поля по отношению к определенным спектрально-избирательным приемникам излучения и к источнику с заданным спектральным составом излучения. Такими приемниками при оценке негативных материалов являются отдельные элементарные слои позитивного цветофотографического материала, а при оценке позитивных материалов — три цветовоспринимающих приемника человеческого глаза. При обоих методах оценки каждое цветное поле характеризуется тремя числами, однако физический смысл этих чисел в том и другом случае совершенно различен. В одном случае они характеризуют количества продуктов химических реакций, протекающих при цветофотографическом процессе, в другом случае — обуславливаемые этими продуктами оптические свойства проявленного цветного негатива или позитива. В цветной фотографии связь между оценками того и другого типа значительно сложнее, чем в черно-белой фотографии. Если для данного цветного поля  $c_m$ ,  $c_n$  и  $c_r$  — концентрации образующих это поле красителей в трех элементарных слоях, а  $D'_{\text{оф}}$ ,  $D''_{\text{оф}}$  и  $D'''_{\text{оф}}$  — эффективные оптические плотности поля в целом по отношению к трем приемникам лучистой энергии (элементарным слоям позитивной пленки или цветовоспринимающим приемникам человеческого глаза) со спектральным распределением светочувствительности  $S'_\lambda = f_1(\lambda)$ ,

$$S''_\lambda = f_2(\lambda) \text{ и } S'''_\lambda = f_3(\lambda),$$

то

$$\left. \begin{aligned} D'_{\text{оф}} &= -\lg \frac{\int E_\lambda 10^{-(k_{\lambda m} c_m + k_{\lambda n} c_n + k_{\lambda r} c_r)} S'_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda S'_\lambda d\lambda}, \\ D''_{\text{оф}} &= -\lg \frac{\int E_\lambda 10^{-(k_{\lambda m} c_m + k_{\lambda n} c_n + k_{\lambda r} c_r)} S''_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda S''_\lambda d\lambda}, \\ D'''_{\text{оф}} &= -\lg \frac{\int E_\lambda 10^{-(k_{\lambda m} c_m + k_{\lambda n} c_n + k_{\lambda r} c_r)} S'''_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda S'''_\lambda d\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $E_\lambda$  характеризует спектральное распределение энергии в излучении, применяемом при печати позитива с негатива или соответственно при рассмотрении позитивного изображения, а  $k_{\lambda m}$ ,  $k_{\lambda n}$  и  $k_{\lambda r}$  — удельные спектральные коэффициенты поглощения отдельных красителей.

Указанные соотношения справедливы в той мере, в какой для красителей в слое соблюдается закон Бугера и действие света различных длин волн на данный приемник лучистой энергии аддитивно [5]. В случае позитивного фотографического материала аддитивность соблюдается в той мере, в какой коэффициенты контрастности элементарных слоев оказываются не зависящими от длины волны. В случае же человеческого глаза аддитивность соблюдается во всем диапазоне освещенностей, лежащих выше зоны сумеречного зрения (яркости более 30 апостильбов).

Экспериментально определяемые эффективные плотности в случае негативных материалов назовем ко п и р о в а л ь н ы м и плотностями, а в случае позитивных материалов — в и з у а л ь н ы м и плотностями.

Третьей, стоящей несколько особняком мерой фотографического эффекта в многослойных материалах могут являться цветовые координаты цветного поля, относящиеся к той или иной системе первичных цветов [6]. Однако в данной статье, посвященной, как уже указывалось, чисто



физико-сенситометрическим вопросам цветофотографического процесса — исследованию так называемого градационного процесса, колориметрические методы оценки рассматриваться не будут.

### 5. Существующая техника денситометрии цветных полей

Рассмотрим технические средства осуществления упомянутых выше денситометрических методов оценки фотографического эффекта.

Определение поверхностных концентраций красителей в элементарных слоях.

Эти концентрации могут быть определены двумя способами. Способ сравнительной трехступенной химической колориметрии основан на использовании прибора с тремя оптическими клиньями из тех же красителей, что и измеряемый материал, градуированными в концентрациях. Этот способ в принципе весьма прост, но практическое осуществление его сопряжено с трудностью полностью компенсировать в фотометре цветностью подложек, желатины, стекол, клиньев и т. д. Будучи вынуждены при установлении фотометрического равновесия компенсировать при помощи трех клиньев эту постороннюю фотографическому процессу цветность, мы вносим в измерение концентраций неучитываемую ошибку, изменяющуюся с изменением количества красителей в измеряемом цветном поле.

Другой способ — спектрофотометрический — основан на измерении оптических плотностей цветного поля при трех избранных длинах волн; он является наиболее надежным оптическим способом измерения концентраций. Насколько нам известно, этот способ никогда не был. В то время как в способе трехступенной химической колориметрии приходится уравнивать фотометрические поля одновременно по трем признакам цвета — цветовому тону, насыщенности и яркости, в спектрофотометрическом способе уравнивание производится по одному признаку — яркости, чем обеспечивается большая легкость и точность измерений. Подробное изложение этого последнего, представляющегося нам наилучшим, способа оценки в разработанной нами форме приводится ниже.

Определение эффективных оптических плотностей цветных полей. Эффективные оптические плотности могут быть определены также несколькими способами. В случае негативных материалов для этой цели может применяться денситометр с системой трех приемников лучистой энергии (рис. 1), спектральное распределение чувствительности которых соответствует спектральному распределению чувствительности трех элементарных слоев позитивной пленки (так называемый фотоэлектрический измеритель копировальных плотностей). Такие приемники могут быть осуществлены при помощи одного или, лучше, трех различных фотоэлементов, экранированных надлежащим образом подобранными светофильтрами. Фототоки  $i$ , даваемые этими фотоэлементами, должны быть пропорциональны фотоактивному потоку  $A$ ,

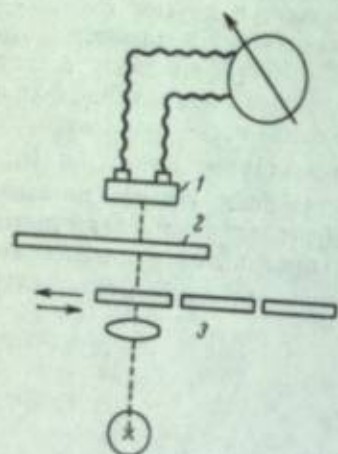


Рис. 1. Схема фотоэлектрического денситометра для измерения копировальных плотностей.  
1 — фотоэлемент; 2 — сенситограмма; 3 — светофильтр.

действующим на элементарные слои позитивного материала; в таком случае они будут служить для определения эффективных, так называемых копировальных плотностей. Копировальная плотность выражается формулой:

$$D_{\text{коп}} = \lg \frac{A_0}{A} = \lg \frac{i_0}{i},$$

где  $A_0$  и  $i_0$  относятся к случаю, когда на пути светового пучка не имеется цветного поля,  $A$  и  $i$  — к случаю, когда на пути пучка расположено измеряемое цветное поле. Этот способ в принципе весьма прост и получил в кинопромышленности применение [7]. Следует, однако, отметить, что создание приемников со сколько-нибудь точным воспроизведением заданного спектрального распределения светочувствительности, осуществляемое обычно подбором к фотоэлементам соответствующих светофильтров, технически довольно затруднительно [3].

В случае позитивных материалов задача измерения эффективных, так называемых визуальных плотностей могла бы быть решена таким же фотоэлектрическим способом. Однако ввиду того, что спектральное распределение светочувствительности в трех цветовоспринимающих приемниках человеческого глаза до сих пор недостаточно точно известно [6], осуществление этого способа затруднительно.

Вместо измерения визуальных плотностей получило распространение измерение так называемых серозэквивалентных плотностей, не требующее знания указанных зависимостей для человеческого глаза. Строго говоря, серозэквивалентные плотности должны были бы называться визуальными серозэквивалентными плотностями, так как эквивалентность серому устанавливается глазом. Поэтому они могут быть применены только для оценки свойств позитивных материалов, хотя в практике иногда ошибочно пользуются ими и при оценке свойств негативных материалов.

Понятие серозэквивалентной плотности заключается в следующем [8]. Серозэквивалентная плотность каждого из составляющих данное цветное поле элементарных слоев численно равна оптической плотности серого поля, которое может быть получено добавлением к данному элементарному слою красителей двух других слоев в соответствующих и притом единственно возможных количествах. Согласно этому определению, измерение серозэквивалентных плотностей цветных полей основывается на примене-

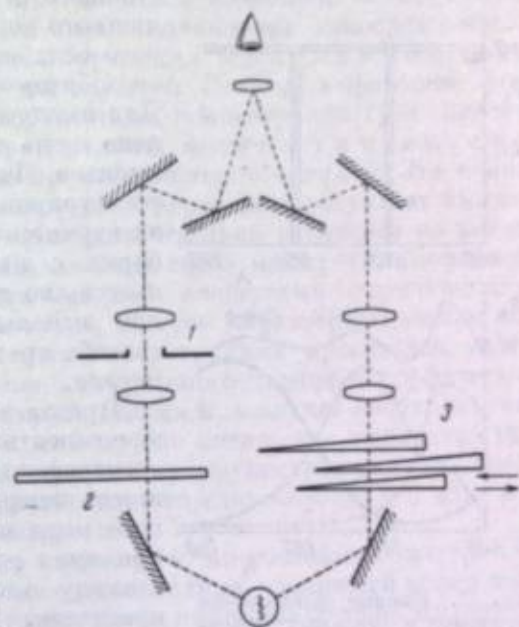


Рис. 2. Схема фотометра с цветными клиньями для измерения визуальных серозэквивалентных плотностей.

1 — диафрагма; 2 — сенситограмма; 3 — цветные клинья.



нии фотометра с цветными клиньями из тех же красителей, что и применяемые в данном цветофотографическом процессе<sup>1</sup>. Для градуировки клиньев этого прибора в серозэквивалентных плотностях поступают следующим образом (рис. 2). В один из пучков фотометра вводят спектрально неизбирательные ослабители света различной плотности (диафрагмы) и перемещением находящихся в другом пучке трех цветных клиньев добиваются фотометрического равновесия. Положениям трех клиньев, при которых это достигается, приписываются значения серозэквивалентной плотности, численно равные оптической плотности серого ослабителя,

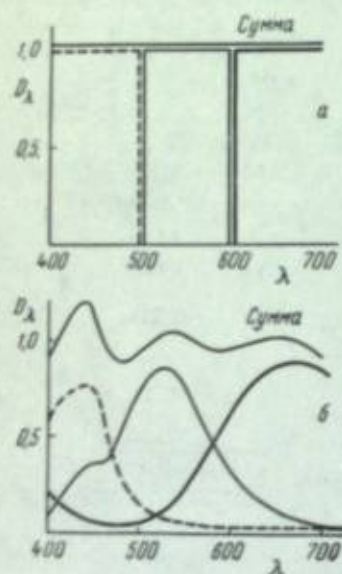


Рис. 3. Кривые поглощения идеальных и реальных красителей, взятых в количествах, соответствующих достижению визуального серого тона.

стоящего в первом пучке. Для измерения цветного поля последнее ставят вместо серого ослабителя<sup>2</sup> и при помощи трех клиньев добиваются фотометрического равновесия. Для каждого цвета это может быть осуществлено лишь при одном положении всех трех клиньев. Фотометрическое равновесие может регистрироваться как глазом, так и фотоэлектрически [9]. Техника работы на приборах с цветными клиньями в принципе проста, но имеются те же трудности, как и при использовании упоминавшегося выше способа трехступенной химической колориметрии.

Предлагалось также определять серозэквивалентные плотности на основании спектрофотометрических данных [11]. Для этого измеряют оптические плотности цветного поля в трех избранных длинах волны и, принимая для каждого из красителей за единицу концентрации такое количество красителя, в котором он входит в серое поле с оптической плотностью, равной единице, рассчитывают серозэквивалентные плотности, исходя из предположения о соблюдении закона Бугера. Такой способ

внешне напоминает предлагаемый нами и описываемый ниже спектрофотометрический способ измерения концентраций красителей. Однако он отличается от нашего способа тем, что предполагает существование прямой пропорциональности между концентрациями красителей и их серозэквивалентными плотностями. Между тем такое предположение справедливо лишь для идеальных красителей, т. е. для красителей с «прямоугольными» кривыми поглощения, которые в сумме могут давать спектральные кривые поглощения, в пределах видимой части спектра представляющие собой прямые, параллельные оси абсцисс (рис. 3, а). Для реальных красителей с пологими кривыми поглощения визуальное серое, например при среднем солнечном свете, отвечает результирующая

<sup>1</sup> Такой прибор конструктивно тождествен упомянутому выше трехступенному химическому колориметру для определения концентраций красителей в отдельных слоях, но отличается от него принципом градуировки клиньев. Если в одном случае основой для градуировки являются поверхностные концентрации красителей, то в другом случае такой основой является шкала серых тонов.

<sup>2</sup> Существуют, впрочем, приборы того же типа, работающие по принципу черно-белого денситометра Копстафа, а именно такие, где измеряемый образец и клинья находятся в одном пучке, пучок же сравнения постоянен [10].

кривая поглощения с несколькими максимумами (рис. 3, б). Поэтому при пропорциональном изменении всех концентраций поле изменит свой цветовой тон. Таким образом, разные по плотности серые поля создаются различными соотношениями концентраций трех красителей, т. е. между концентрациями реальных красителей и их серозэквивалентными плотностями не существует пропорциональности. Указанное обстоятельство делает этот способ неудовлетворительным.

Сравнение двух видов оценок. О целесообразности применения одного из двух описанных выше способов оценки фотографического эффекта в проявленном многослойном материале можно сказать следующее. Количества трех красителей, являющихся непосредственным результатом цветофотографического процесса, однозначно определяют все оптические свойства цветного поля. Поэтому выражение фотографического эффекта в виде поверхностных концентраций трех красителей, образующихся в элементарных слоях, является универсальной и, следовательно, наиболее предпочтительной оценкой. Эта оценка дает возможность, с одной стороны, охарактеризовать результат химикофотографических процессов, протекающих отдельно в каждом из элементарных слоев, с другой стороны, установить связь между химикофотографическими и оптикоколориметрическими свойствами окончательного цветного изображения. Действительно, по трем характеристическим кривым, выраженным в поверхностных концентрациях красителей, можно непосредственно судить о возможностях данного цветофотографического материала в отношении цветовоспроизведения и, в случае необходимости, рассчитать цветовые координаты или другие оптические параметры элементов цветного изображения. Кроме того, преимуществом данного способа оценки фотографического эффекта является единообразие его для всех видов цветофотографических материалов.

Оценка же фотографического эффекта в многослойных материалах посредством копировальных и серозэквивалентных плотностей может целесообразно применяться в тех случаях, когда в качестве основного критерия качества цветовоспроизведения принимают правильность воспроизведения шкалы серых тонов. Действительно, полное совпадение трех характеристических кривых многослойного материала, выраженных в копировальных или серозэквивалентных плотностях, в случае экспонирования белым светом свидетельствует о правильном воспроизведении материалом шкалы серых тонов. Однако на практике такое совпадение встречается сравнительно редко; обычно кривые либо совпадают в пределах некоторого участка, либо даже пересекаются в одной точке. Такие материалы правильно воспроизводят лишь часть шкалы серых тонов или даже лишь одно ее поле. Если три кривые не имеют общей точки пересечения, то такой материал не способен воспроизводить серое серым. Примеры семейств характеристических кривых хорошего, посредственного и плохого материалов приведены на рис. 4.

Из правильности воспроизведения шкалы серых тонов отнюдь не вытекает правильность воспроизведения всего многообразия цветов, с которым может встретиться цветная фотография. Действительно, чем более пологи кривые спектральной чувствительности элементарных слоев (т. е. чем хуже цветоделение) и спектральные кривые поглощения образующихся красителей (т. е. чем несовершеннее синтез), тем менее такие материалы способны к воспроизведению насыщенных цветов. Как указывает Н. Д. Нюберг [1], «при осуществлении таких переходных (градационных) процессов, — независимо от того, как проведено цветоделение, — цвета контрольной (неискажаемой, например серой) шкалы будут



воспроизведены точно. С другой стороны, воспроизведение цветов, не входящих в контрольную шкалу, существенно зависит от цветоделения. У реальных цветофотографических материалов упомянутые выше кривые действительно довольно пологи, что видно из приводимого ниже рис. 9 и из данных нашей следующей статьи [3].

Итак, второй способ оценки, несмотря на свою кажущуюся наглядность и широкое распространение, не только не имеет особых преимуществ перед первым способом, но уступает ему как в универсальности, так и в отражении сущности процессов, протекающих при образовании цветного фотографического изображения.

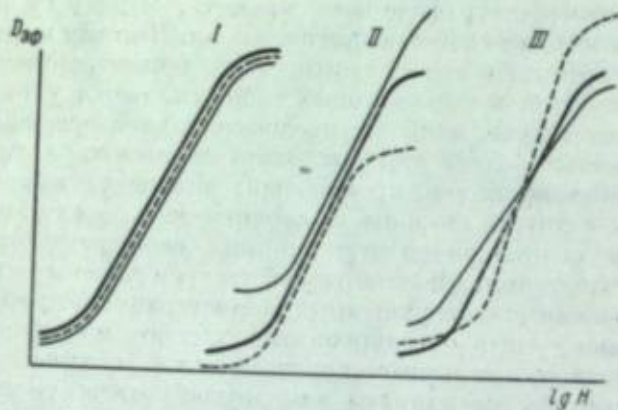


Рис. 4. Схемы семейств характеристических кривых хорошего, посредственного и плохого цветофотографических материалов.

I — хороший материал; II — посредственный материал; III — плохой материал.

## 6. Другие вопросы сенсинометрии цветофотографических материалов

Процесс проявления многослойных цветофотографических материалов является своеобразным в отношении взаимного влияния элементарных слоев при проявлении. Это явление ввиду его важности было нами специально исследовано [2].

Остается важный вопрос о способе выражения результатов сенсинометрического испытания и в первую очередь о выборе критерия светочувствительности для цветофотографических материалов. Этот вопрос здесь не рассматривается; отметим лишь, что поскольку свойства многослойного материала определяются свойствами трех элементарных слоев, его составляющих, выражаемых семейством трех характеристических кривых, число светочувствительности для данного материала должно отражать не только абсолютное положение этих кривых относительно оси абсцисс, но и их взаимное положение относительно друг друга.

## 7. Принципы спектрофотометрического метода определения концентраций красителей в цветных полях

Если имеется смесь нескольких не взаимодействующих красителей со спектральными кривыми поглощения, сколько-нибудь значительно различающимися между собой, то в том случае, когда все красители подчиняются закону Бугера, можно оптически определить их концентрации,

измеряя монохроматические оптические плотности смеси при избранных длинах волн, число которых должно быть равно числу красителей в смеси. К выбираемым длинам волн предъявляется требование, чтобы они отвечали возможно большему различиям в коэффициентах спектрального поглощения красителей.

Если известны удельные коэффициенты поглощения каждого из красителей смеси при избранных длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

$$k'_{\lambda_1}, k'_{\lambda_2}, \dots, k'_{\lambda_n} \quad (1\text{-й краситель})$$

$$k''_{\lambda_1}, k''_{\lambda_2}, \dots, k''_{\lambda_n} \quad (2\text{-й краситель})$$

$$\dots \dots \dots$$

$$k^n_{\lambda_1}, k^n_{\lambda_2}, \dots, k^n_{\lambda_n} \quad (n\text{-й краситель})$$

то, измерив монохроматические оптические плотности этой смеси при толщине слоя последней  $l$ ,

$$D_{\lambda_1}, D_{\lambda_2}, \dots, D_{\lambda_n}$$

можно, в соответствии с законом Бугера  $D = kcl$ , составить следующую систему линейных уравнений, порядок которой равен числу красителей:

$$\left. \begin{aligned} D_{\lambda_1} &= k'_{\lambda_1} c^1 l + k''_{\lambda_1} c^2 l + \dots + k^n_{\lambda_1} c^n l, \\ D_{\lambda_2} &= k'_{\lambda_2} c^1 l + k''_{\lambda_2} c^2 l + \dots + k^n_{\lambda_2} c^n l, \\ &\dots \dots \dots \\ D_{\lambda_n} &= k'_{\lambda_n} c^1 l + k''_{\lambda_n} c^2 l + \dots + k^n_{\lambda_n} c^n l. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Такая система уравнений после подстановки в нее численных значений может быть легко решена относительно концентраций

$$c^1, c^2, \dots, c^n.$$

Таким образом, для определения концентраций заданных красителей в смеси необходимо и достаточно определить монохроматические оптические плотности  $D_\lambda$  слоя смеси для избранных длин волн, число которых равно числу компонентов смеси. При этом точность определения концентраций  $c$  при данной точности определения  $D_\lambda$  будет тем большей, чем больше различаются между собой численные значения коэффициентов поглощения всех красителей для каждой длины волны

$$k'_{\lambda_1}, k''_{\lambda_2}, \dots, k^n_{\lambda_n},$$

чем и определяется выбор длин волн

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n.$$

В случае тонкого слоя постоянной толщины (многокомпонентный светофильтр) задача упрощается тем, что толщина слоя  $l$  в уравнениях (2) может быть исключена посредством замены объемных концентраций поверхностными (например, вместо г/мл вводятся г/кв. см).

В интересующем нас случае трехслойного цветофотографического материала задача сводится, таким образом, к решению следующей системы уравнений третьего порядка:

$$\left. \begin{aligned} D_{\lambda_1} &= k_{\lambda_1}^{200} c^{200} + k_{\lambda_1}^n c^n + k_{\lambda_1}^e c^e, \\ D_{\lambda_2} &= k_{\lambda_2}^{200} c^{200} + k_{\lambda_2}^n c^n + k_{\lambda_2}^e c^e, \\ D_{\lambda_3} &= k_{\lambda_3}^{200} c^{200} + k_{\lambda_3}^n c^n + k_{\lambda_3}^e c^e. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



где  $c^m$ ,  $c^n$  и  $c^p$  — поверхностные концентрации желтого, пурпурного и голубого (сине-зеленого) красителей соответственно верхнего, среднего и нижнего элементарных слоев<sup>1</sup>.

В ряде случаев вследствие неполного удаления серебра в слое, кроме красителей, остается еще некоторое количество металлического серебра, которое следует рассматривать как четвертую краску. В этом случае вместо приведенной выше системы из трех уравнений должна быть составлена соответствующая система из четырех уравнений.

### 8. Экспериментальное обоснование спектрофотометрического метода и нахождение коэффициентов уравнений

Особое значение, которое, в соответствии со сказанным выше, имеет соблюдение закона Бугера для каждого из красителей многослойных материалов, побудило нас провести специальное спектрофотометрическое

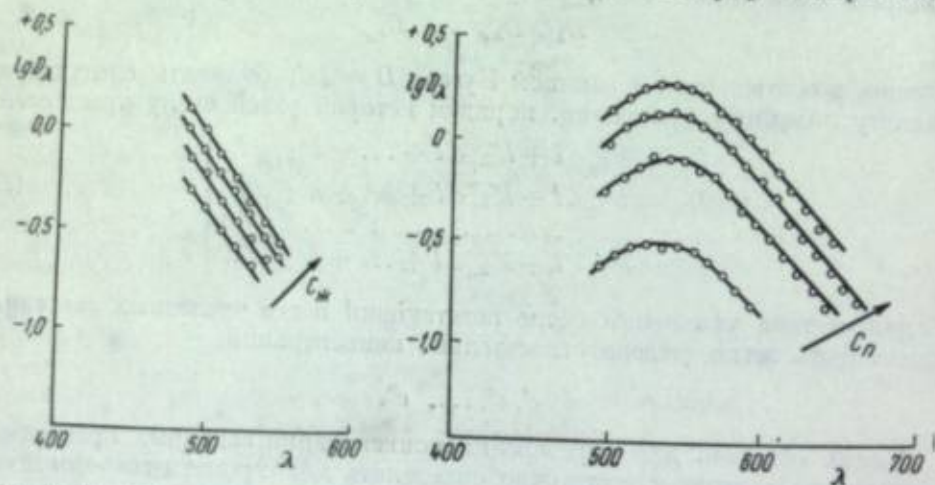


Рис. 5. Логарифмические кривые поглощения желтого красителя при разных концентрациях его в пленке (доказательство соблюдения закона Бугера).

Рис. 6. Логарифмические кривые поглощения пурпурного красителя при разных концентрациях его в пленке (доказательство соблюдения закона Бугера).

изучение этого вопроса. Для этой цели на поляризационном спектрофотометре были измерены образцы отдельно политых элементарных слоев цветной негативной и позитивной пленок, экспонированных различными количествами освещения и после обычного проявления [7], образовавшихся, таким образом, различные количества красителей. На рис. 5—8 приведены в координатах  $\lg D_\lambda = f(\lambda)$  кривые спектрального поглощения каждого из красителей при разных их концентрациях. Ввиду трудности визуального измерения больших плотностей на концах видимого спектра, измеренные семейства кривых для верхнего и нижнего слоев достигают лишь длин волн, отвечающих максимумам поглощения. Строгая параллельность этих кривых друг другу (смещение вдоль оси ординат равно  $\lg c$ ) свидетельствует о том, что в исследованном интервале концентраций все красители подчиняются закону Бугера.

<sup>1</sup> То обстоятельство, что красители многослойного материала находятся в разных слоях, т. е. в известной мере пространственно разделены, не нарушает правильности приведенных выше соображений.

Для составления системы уравнений (3) необходимо знать отдельные коэффициенты поглощения каждого из красителей при трех длинах волн. Однако абсолютные значения этих величин не могут быть установлены без знания абсолютных концентраций красителей (хотя бы поверхностных). Эти же последние не могут быть установлены в желатиновом слое. Поэтому впрямь до выделения всех красителей в чистом виде эта задача не может

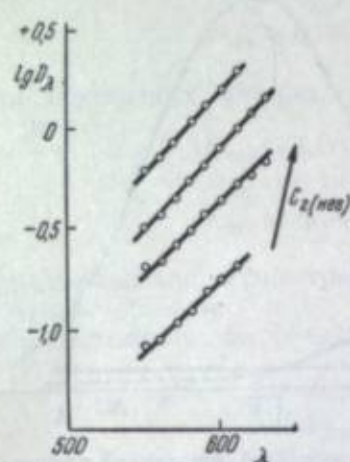


Рис. 7. Логарифмические кривые поглощения голубого красителя негативной пленки при разных концентрациях его в пленке (доказательство соблюдения закона Бугера).

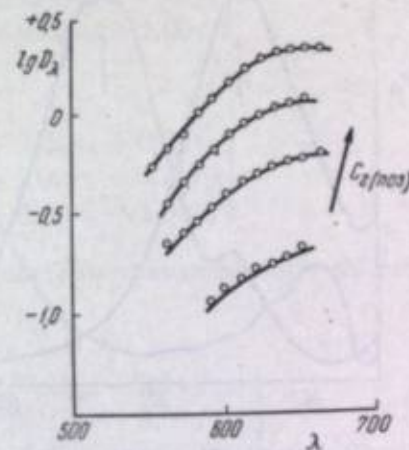


Рис. 8. Логарифмические кривые поглощения голубого красителя позитивной пленки при разных концентрациях его в пленке (доказательство соблюдения закона Бугера).

быть решена. Приходится прибегать к косвенному приему — определению концентраций в относительных единицах, что при соответствующем выборе их вполне достаточно для целей цветной фотографии.

Предлагается считать единичной относительной поверхностной концентрацией красителя такую концентрацию, при которой монохроматическая оптическая плотность желатинового слоя, содержащего этот краситель, в максимуме поглощения в видимой части спектра равна единице. Соответствующую этой концентрации спектральную кривую поглощения ( $D_\lambda = f(\lambda)$ ) предлагается называть нормальной кривой поглощения данного красителя.

Такой выбор единицы концентрации, во-первых, оправдывается аналогией с фотометрическим эквивалентом в черно-белых слоях, а, во-вторых, при таком выборе имеется наглядность, заключающаяся в том, что для цветного поля, содержащего только один краситель, оптическая плотность в максимуме и поверхностная концентрация красителя численно равны.

На рис. 9 и 10 приведены нормальные кривые для каждого из красителей негативного и позитивного материалов, измеренные на фотоэлектрическом кварцевом спектрофотометре в диапазоне от  $\lambda = 350$  мμ до  $\lambda = 850$  мμ. Из рисунков видно, что кривые для верхнего и среднего элементарных слоев у этих двух материалов почти совпадают, что объясняется тем, что компоненты в указанных слоях и в негативном и в позитивном материалах одни и те же. Замена же диэтил-л-фенилендиамина, применяемого в негативном проявителе, на этилоксиэтил-л-фенилендиамина в позитивном проявителе мало сказывается на оптических свойствах



получающихся красителей. Максимумы на нормальных кривых поглощения расположены: у желтого красителя — при  $\lambda = 440$  м $\mu$ , у пурпурного — при  $\lambda = 530$  м $\mu$ , у голубого красителя: а) негативного материала — при  $\lambda = 700$  м $\mu$ , б) позитивного материала — при  $\lambda = 675$  м $\mu$ .

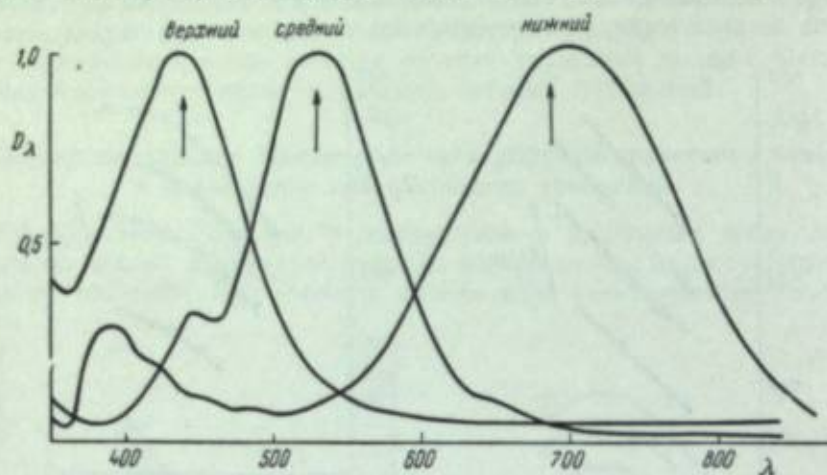


Рис. 9. Нормальные кривые поглощения красителей негативной пленки.

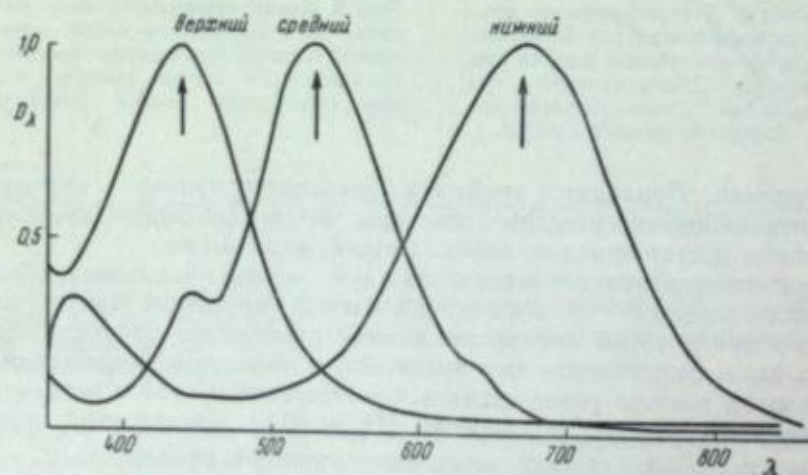


Рис. 10. Нормальные кривые поглощения красителей позитивной пленки.

Исходя из приведенного выше (п. 7) соображения об условиях, при которых в спектрофотометрическом методе достигается наибольшая точность измерения концентраций, в качестве избранных длин волны были приняты: для негативного материала 440, 530 и 690 м $\mu$ , для позитивного 440, 530 и 670 м $\mu$ .

При выборе длин волны в красной части спектра мы исходили из невозможности точных определений  $D_\lambda$  при  $\lambda = 700$  м $\mu$  из-за весьма малой чувствительности как человеческого глаза, так и селенового фотоэлемента при этой длине волны<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> При использовании очень малосветосильными приборами, когда на краях спектра точность измерений из-за недостатка света сильно падает, можно допустить приме-

На основании этих кривых были определены для указанных длин волны удельные коэффициенты поглощения в относительных единицах, вошедшие в приводимые ниже уравнения:

$$\begin{cases} D_{440} = 1,00 c_{жс} + 0,32 c_n + 0,13 c_2 \\ D_{530} = 0,17 c_{жс} + 1,00 c_n + 0,09 c_2 \\ D_{690} = 0,05 c_{жс} + 0,05 c_n + 1,00 c_2 \end{cases} \quad (4)$$

и для позитивных материалов

$$\begin{cases} D_{440} = 1,00 c_{жс} + 0,34 c_n + 0,09 c_2 \\ D_{530} = 0,19 c_{жс} + 1,00 c_n + 0,14 c_2 \\ D_{670} = 0,04 c_{жс} + 0,08 c_n + 1,00 c_2 \end{cases} \quad (5)$$

Для вычисления концентраций системы уравнений (4) и (5) решаются следующим образом:

для негативных материалов

$$\begin{cases} c_{жс} = 1,06 D_{440} - 0,33 D_{530} - 0,11 D_{690} \\ c_n = -0,18 D_{440} + 1,05 D_{530} - 0,07 D_{690} \\ c_2 = -0,04 D_{440} - 0,04 D_{530} + 1,01 D_{690} \end{cases} \quad (6)$$

и для позитивных материалов

$$\begin{cases} c_{жс} = +1,08 D_{440} - 0,36 D_{530} - 0,04 D_{670} \\ c_n = -0,20 D_{440} + 1,08 D_{530} - 0,13 D_{670} \\ c_2 = -0,03 D_{440} - 0,07 D_{530} + 1,02 D_{670} \end{cases} \quad (7)$$

Приведенные выше уравнения относятся к определенной системе красителей. В случае другой системы красителей пользоваться этими уравнениями нельзя. В этих случаях необходимо установить нормальные кривые поглощения измененных красителей и составить соответствующую систему уравнений. Следует отметить, что если изменения коснутся не всех красителей процесса, то хотя коэффициенты новых уравнений и будут иметь совершенно другие численные значения, численные значения концентраций оставшихся неизменными красителей не изменятся.

### 9. Техника осуществления спектрофотометрического метода определения концентраций красителей в цветных полях

Для спектрофотометрических измерений в принципе может применяться любой спектрофотометр, работающий в указанной спектральной зоне и приспособленный для установки и перемещения в нем сенситограмм. Точность измерения концентраций однозначно определяется точностью измерения оптических плотностей, причем относительная погрешность последних должна быть значительно ниже желаемой точности определения концентраций. В наших исследованиях применялись два прибора — визуальный и фотоэлектрический. В качестве визуального прибора использовался обычный клиновой спектроденсограф, снабженный устройством

ные длин волны в синей и красной областях, несколько более близких к середине спектра, например:  $\lambda = 450$  м $\mu$  и  $\lambda = 650-660$  м $\mu$ . Значения коэффициентов в приводимых ниже уравнениях тогда соответственно изменятся.



для установки и равномерного перемещения сенситограмм, полученных в сенситометре ГОИ [14], и лампой повышенной мощности (70 W вместо 30 W). В качестве фотоэлектрического прибора был использован зеркальный монохроматор со стеклянной призмой, имеющий относительное отверстие 1 : 5. За выходной щелью монохроматора располагался короткофокусный объектив и призма, дававшие уменьшенное в 3 раза изображение выходной щели в горизонтальной плоскости измеряемой сенситограммы. Малые размеры измеряемого поля (около  $0,1 \times 3$  мм) позволяли в этом случае измерять не только сравнительно большие поля сенситограммы, но и малые поля на спектросенситограммах и некоторых других объектах [3]. Приемником энергии служил селеновый фотоэлемент, соединенный с зеркальным

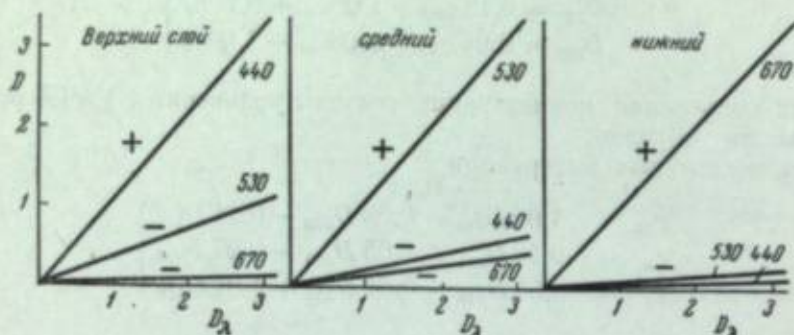


Рис. 11. Номограмма для расчета относительных поверхностных концентраций красителей позитивного материала по результатам спектрофотометрических измерений в трех длинах волн ( $D_\lambda$ ).

гальванометром с чувствительностью  $4 \cdot 10^{-4}$   $\mu\text{A}/\text{мм}$ . Максимальные измеряемые плотности составляли: у визуального прибора 2,5 при  $\lambda = 440$   $\text{m}\mu$ , 3,0 при  $\lambda = 530$   $\text{m}\mu$  и 2,0 при  $\lambda = 690$   $\text{m}\mu$ , а у фотоэлектрического прибора: 2,0 при  $\lambda = 440$   $\text{m}\mu$ , 2,5 при  $\lambda = 530$   $\text{m}\mu$  и 1,5 при  $\lambda = 690$   $\text{m}\mu$ .

Для облегчения процесса вычисления относительных концентраций (с) по измеренным значениям  $D_\lambda$  были рассчитаны основывающиеся на использовании уравнений (6) и (7) таблицы и номограммы. В качестве примера на рис. 11 приведена расчетная номограмма для случая позитивного материала. Если монохроматические оптические плотности цветного поля позитивного материала суть  $D_{440}$ ,  $D_{530}$  и  $D_{670}$ , то, восстанавливая на каждой из трех номограмм перпендикуляры при значениях абсцисс, отвечающих этим плотностям, находят значения ординат в точках пересечения этих перпендикуляров с соответствующими им прямыми линиями на номограмме. Алгебраическая сумма значений трех ординат дает значения относительной концентрации красителя того элементарного слоя, которому соответствует номограмма. Следует отметить, что при массовой работе пользование таблицами удобнее, чем номограммами. В табл. 2 и 3 представлены в сокращенном виде (для интервалов  $\Delta D_\lambda = 0,10$  вместо более удобных в практической работе  $\Delta D_\lambda = 0,02$ ) соответствующие числовые данные для негативных и позитивных пленок.

Для техники спектрофотометрических измерений такого рода существует вопрос о максимальной допустимой ширине спектральных интервалов  $\Delta\lambda$ . Очевидно, что в известных пределах, пока значения монохроматических плотностей исследуемого объекта мало отличаются друг от друга, измеряемая средняя величина оптической плотности практически не зависит от  $\Delta\lambda$ . При достаточно же больших значениях  $\Delta\lambda$  средняя оптическая

Таблица 2

Краситель	Негатив								
	желтый			пурпурный			голубой		
	440	530	690	440	530	690	440	530	690
$\lambda$ (m $\mu$ )	+	-	-	-	+	-	-	-	+
$D_\lambda$	+	-	-	-	+	-	-	-	+
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	0,11	0,03	0,01	0,02	0,11	0,01	0,00	0,00	0,10
0,2	0,22	0,07	0,02	0,04	0,21	0,02	0,01	0,01	0,20
0,3	0,32	0,10	0,04	0,05	0,31	0,02	0,01	0,01	0,30
0,4	0,42	0,13	0,05	0,07	0,42	0,03	0,01	0,01	0,40
0,5	0,53	0,17	0,06	0,09	0,52	0,04	0,02	0,02	0,50
0,6	0,64	0,20	0,07	0,11	0,63	0,05	0,02	0,02	0,60
0,7	0,74	0,23	0,08	0,12	0,73	0,05	0,02	0,02	0,71
0,8	0,85	0,26	0,09	0,14	0,84	0,06	0,03	0,03	0,81
0,9	0,95	0,30	0,10	0,16	0,94	0,06	0,03	0,03	0,91
1,0	1,06	0,33	0,11	0,18	1,05	0,07	0,04	0,04	1,01
1,1	1,17	0,36	0,12	0,19	1,15	0,08	0,04	0,04	1,11
1,2	1,27	0,40	0,14	0,21	1,26	0,09	0,04	0,04	1,22
1,3	1,38	0,43	0,15	0,23	1,36	0,09	0,05	0,05	1,32
1,4	1,48	0,46	0,16	0,25	1,47	0,10	0,05	0,05	1,42
1,5	1,59	0,49	0,17	0,27	1,57	0,10	0,06	0,06	1,52
1,6	1,70	0,53	0,18	0,28	1,68	0,11	0,06	0,06	1,62
1,7	1,80	0,56	0,19	0,30	1,78	0,12	0,06	0,06	1,72
1,8	1,91	0,59	0,20	0,32	1,88	0,12	0,07	0,07	1,82
1,9	2,01	0,63	0,21	0,34	1,99	0,13	0,07	0,07	1,92
2,0	2,12	0,66	0,22	0,36	2,10	0,14	0,08	0,08	2,02
2,1	2,23	0,69	0,24	0,37	2,20	0,15	0,08	0,08	2,12
2,2	2,33	0,73	0,25	0,39	2,30	0,15	0,08	0,08	2,23
2,3	2,44	0,76	0,26	0,41	2,41	0,16	0,09	0,09	2,33
2,4	2,55	0,79	0,27	0,43	2,52	0,16	0,09	0,09	2,43
2,5	2,65	0,82	0,28	0,44	2,62	0,17	0,10	0,10	2,53
2,6	2,76	0,86	0,29	0,46	2,72	0,18	0,10	0,10	2,63
2,7	2,87	0,89	0,30	0,48	2,83	0,19	0,10	0,10	2,73
2,8	2,97	0,92	0,31	0,50	2,93	0,19	0,11	0,11	2,83
2,9	3,08	0,96	0,32	0,52	3,04	0,20	0,11	0,11	2,93
3,0	3,18	0,99	0,33	0,54	3,15	0,21	0,12	0,12	3,03

плотность становится ощутимо отличающейся от монохроматической плотности в середине спектрального интервала. Чем более пологи спектральные кривые поглощения измеряемых красителей, тем этот интервал шире. С другой стороны, чем шире  $\Delta\lambda$ , тем больше лучистый поток, действующий на фотоэлемент, и тем выше точность измерений или соответственно ниже требования к чувствительности измерительного прибора.

И. С. Нилова произвела для описанных выше красителей многослойного процесса соответствующие расчеты и опыты. Расчеты заключались в вычислении средних значений оптической плотности  $D_{\text{ср}}$  в разных



Таблица 3

## Позитив

Краситель	желтый			пурпурный			голубой		
	440	530	670	440	530	670	440	530	670
$D_\lambda$	+	-	-	-	+	-	-	-	+
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	0,11	0,04	0,00	0,02	0,11	0,04	0,00	0,00	0,10
0,2	0,22	0,07	0,00	0,04	0,22	0,02	0,01	0,01	0,20
0,3	0,32	0,11	0,00	0,06	0,32	0,04	0,01	0,02	0,30
0,4	0,43	0,14	0,01	0,08	0,43	0,05	0,01	0,02	0,41
0,5	0,54 <sup>a</sup>	0,18	0,02	0,10	0,54	0,06	0,01	0,03	0,51
0,6	0,65	0,22	0,02	0,12	0,65	0,07	0,01	0,04	0,61
0,7	0,75	0,25	0,02	0,14	0,75	0,09	0,02	0,05	0,71
0,8	0,86	0,29	0,03	0,16	0,86	0,10	0,02	0,05	0,82
0,9	0,97	0,32	0,03	0,18	0,97	0,11	0,03	0,06	0,92
1,0	1,08	0,36	0,04	0,20	1,08	0,13	0,03	0,07	1,02
1,1	1,18	0,39	0,04	0,22	1,18	0,14	0,03	0,07	1,12
1,2	1,29	0,43	0,04	0,24	1,29	0,15	0,03	0,08	1,22
1,3	1,40	0,46	0,05	0,26	1,40	0,16	0,04	0,09	1,32
1,4	1,51	0,50	0,05	0,28	1,51	0,18	0,04	0,09	1,43
1,5	1,62	0,54	0,06	0,30	1,62	0,19	0,04	0,10	1,53
1,6	1,72	0,57	0,06	0,32	1,72	0,20	0,04	0,11	1,63
1,7	1,83	0,61	0,06	0,34	1,83	0,22	0,05	0,11	1,74
1,8	1,94	0,64	0,07	0,36	1,94	0,23	0,05	0,12	1,84
1,9	2,05	0,68	0,07	0,38	2,05	0,24	0,05	0,13	1,94
2,0	2,16	0,72	0,08	0,40	2,16	0,26	0,06	0,14	2,04
2,1	2,27	0,75	0,08	0,42	2,27	0,27	0,06	0,14	2,14
2,2	2,37	0,79	0,08	0,44	2,37	0,28	0,06	0,15	2,25
2,3	2,48	0,83	0,09	0,46	2,48	0,29	0,06	0,16	2,35
2,4	2,59	0,86	0,09	0,48	2,59	0,31	0,07	0,16	2,45
2,5	2,70	0,90	0,10	0,50	2,70	0,32	0,07	0,17	2,55
2,6	2,81	0,93	0,10	0,52	2,81	0,33	0,07	0,18	2,66
2,7	2,91	0,97	0,11	0,54	2,91	0,35	0,08	0,18	2,76
2,8	3,02	1,01	0,11	0,56	3,02	0,36	0,08	0,19	2,86
2,9	3,13	1,04	0,11	0,58	3,13	0,37	0,08	0,20	2,96
3,0	3,24	1,08	0,12	0,60	3,24	0,39	0,09	0,21	3,06

спектральных границах ( $\lambda_2 - \lambda_1 = \Delta\lambda$ ) по монохроматическим коэффициентам пропускания  $\tau_\lambda$ :

$$D_{cp} = -\lg \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda S_\lambda \tau_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda S_\lambda d\lambda}$$

где  $E_\lambda$  — монохроматическая составляющая в сложном излучении лампы накаливания, а  $S_\lambda$  — спектральная чувствительность селенового фотоэлемента. Опыты заключались в измерении оптических плотностей при

помощи снабженного селеновым фотоэлементом двойного монохроматора-интегратора, в средней фокальной плоскости которого поочередно помещались прямоугольные диафрагмы различной ширины, чем достигалась различная величина спектрального интервала излучений, выходящих из монохроматора и падавших на фотоэлемент. Объектами исследования являлись однослойные пленки, содержащие каждый из красителей в относительных концентрациях  $1,0 \pm 0,1$ , и близкая к серому

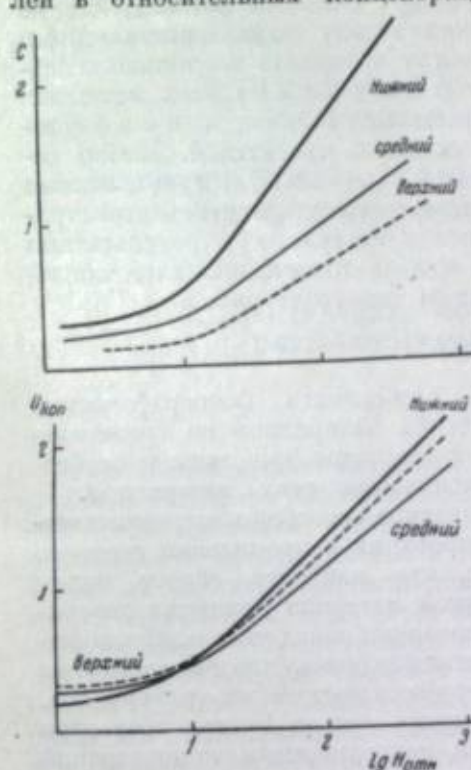


Рис. 12. Семейства характеристических кривых хорошего негативного материала, выраженные в координатах  $D$ ,  $\lg H$  и соответственно  $D_{top}$ ,  $\lg H$ .

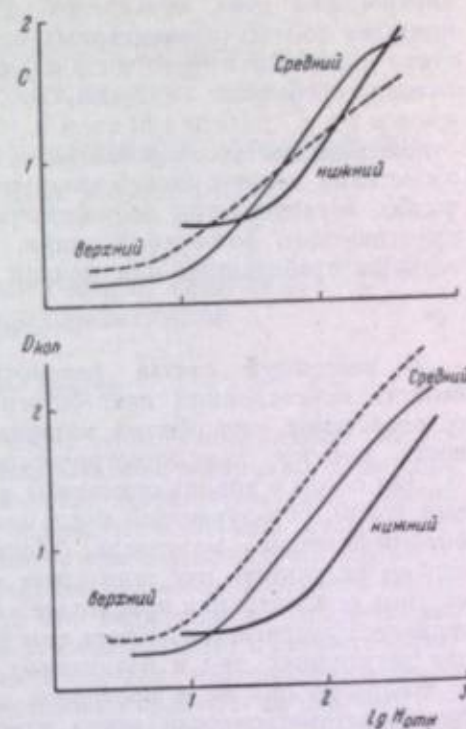


Рис. 13. Семейства характеристических кривых неудовлетворительного негативного материала, выраженные в координатах  $D$ ,  $\lg H$  и соответственно  $D_{top}$ ,  $\lg H$ .

многослойная пленка, содержащая те же красители в концентрациях 0,6—0,9. Оказалось, что при проведении измерений при средних длинах волны, указанных в п. 8, в фиолетовой части спектра допустимый интервал составляет 20 м $\mu$ , в зеленой части — 40 м $\mu$  и, наконец, в красной части спектра — 30 м $\mu$ .

В качестве иллюстрации результатов сенситометрических измерений описанным выше спектрофотометрическим методом на рис. 12 и 13 приведены характеристические кривые элементарных слоев двух цветных кинонегативных пленок, измеренные в относительных концентрациях и параллельно — в кошировальных плотностях. Как показало практическое испытание этих пленок, одна из них является хорошей, а другая неудовлетворительной. Сравнение двух семейств кривых отчетливо выявляет разницу между двумя материалами. Следует отметить, что в координатах  $D$ ,  $\lg H$  различие между этими материалами выражено значительно резче, чем в координатах  $D_{top}$ ,  $\lg H$ .



Образный слой способ описан фотографических слоев многослойных цветофотографических материалов позволяет различать эти слои по своим спектральным свойствам. Поэтому далее будут изложены способы измерения относительной чувствительности (в спектральном, фотографическом смысле) различных слоев (или концентраций) для слоев, содержащих различные красители, или же слоев, содержащих фотометрические материалы для красителей. Различия между гомогенизированными слоями и многослойными слоями могут достигать до тысячи процентов. Поэтому в фотофотографических свойствах исследуемых материалов различия, во-первых, различия в коэффициентах диффузии красителей в материалы. Выбор относительной чувствительности в слое, содержащем фотографический материал, может быть сделан на основе спектральной чувствительности, определенной цветофотографическим материалом с определенными характеристиками, то, чтобы получить, является обязательным условием для слоя, слоя спектрометрии.

2. Методы

В основном для измерения относительной чувствительности фотографических слоев исследуемых цветофотографических материалов по сравнению с эталонными материалами используются следующие принципы и особенности: во-первых, использование эталонных слоев материалов.

Во-вторых, измерение в литературе способов измерения чувствительности. Методика для измерения и измерения цветного материала. Показано, что наиболее общие методы измерения чувствительности для слоев материалов являются измерением чувствительности к свету в слое для измерения спектров. В результате работы для измерения в слое для измерения спектров. В результате работы для измерения в слое для измерения спектров.

Вопросы измерения в примерной области знания Бугара объясняют измерение чувствительности для измерения поверхностных концентраций красителей в слое при измерении их присутствия.

\*\*\*

Каждый слой слоя бумаги, содержащий исследования по чувствительности исследуемых цветофотографических материалов, считают слоем, который чувствителен к свету. В. И. Брейда, П. В. Пономаренко, Ж. П. Ланберг и за экспериментальную работу — И. С. Иванов и К. И. Шейман.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Брейда. Цветные слои тонкой репродукции. Изд. «Советская фото». 1946.  
 2. В. И. Брейда и Ж. П. Ланберг. Избранный сборник, стр. 119.  
 3. В. И. Брейда, П. В. Пономаренко и Ж. П. Ланберг. Избранный сборник, стр. 119.  
 4. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1956, № 1-4.  
 5. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1962, № 23, 245.  
 6. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1946.  
 7. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1946.  
 8. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1946.  
 9. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1946.  
 10. В. И. Брейда. Фотографический материал, 1946.

Ю. И. ГОРОХОВСКИЙ, Д. К. БАЛАБУХА  
и О. М. ПОНОМАРЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕНСИТОМЕТРИИ МНОГОСЛОЙНЫХ  
ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

II. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. Постановка задачи

Три элементарных эмульсионных слоя, образующих любой многослойный цветофотографический материал, обладают различным спектральным распределением светочувствительности. Характером трех кривых спектральной чувствительности этих слоев и в первую очередь степенью их различия определяется характер цветоделительного процесса, т. е. в конечном счете, качество фотографического воспроизведения многообразия цветов. Следует иметь в виду, что спектральное распределение светочувствительности среднего (зеленочувствительного) и нижнего (красночувствительного) элементарных слоев в составе многослойного материала и в изолированном состоянии, — отдельно политых на подложку — не одинаково. Это объясняется тем, что экспонирующий свет, прежде чем попасть на эти слои в многослойном материале, проходит через вышележащие желтый фильтровый слой и один (синечувствительный) или два (синечувствительный и зеленочувствительный) эмульсионных слоя. Каждый из этих слоев обладает специфическим избирательным поглощением, в результате чего три кривых спектральной чувствительности многослойного материала и по форме и по абсолютным значениям оказываются существенно отличающимися от соответствующих кривых элементарных слоев в изолированном состоянии. Изучение этих кривых является важной задачей сенситометрии многослойных цветофотографических материалов.

Качество фотографического цветовоспроизведения зависит, однако, не только от характера цветоделительного процесса, но и от характера градационного процесса, т. е. от того, как связано количество образующегося красителя с количеством подействовавшего на данный слой излучения. Поэтому необходимо также исследовать зависимость формы характеристической кривой каждого элементарного слоя от длины волны действующего излучения.

Поскольку приводимые в литературе немногочисленные данные о спектральных фотографических свойствах цветофотографических материалов грубо ориентировочны и даже сомнительны, средствами абсолютной энергетической спектральной сенситометрии [1, 2] было произведе-



дено количественное исследование нескольких материалов на прозрачной подложке. Полученные результаты были использованы для разработки «выделяющих» отдельные слои многослойного материала светофильтров и для анализа фотоэлектрического измерителя копировальных плотностей, упоминавшегося в предыдущей статье [3].

## 2. Аппаратура и метод исследования

Поскольку исследование было желательно произвести в возможно более широком спектральном диапазоне — от ультрафиолетовой до инфракрасной области, применялись два экспозиционных прибора, разработанных Ю. Н. Гороховским и подробно описываемых ниже. Для опытов в видимой части спектра ( $\lambda = 425-750$  м $\mu$ ) применялся спектросенситометр со стеклянной оптикой (две 63-градусные призмы, фокусное расстояние объектива камеры  $f = 375$  мм, длина спектра  $\lambda = 400-1000$  м $\mu$  74 мм), а для опытов в ультрафиолетовой части спектра ( $\lambda = 450-250$  м $\mu$ ) — однотипный с первым прибором спектросенситометр с кварцевой оптикой (две склеенные 30-градусные призмы, фокусное расстояние объектива камеры  $f_D = 263$  мм, длина спектра  $\lambda = 254-500$  м $\mu$ ) 36 мм. Относительное отверстие объективов камер обоих приборов было равно 1:5.

Спектросенситометры состояли из описанных выше спектрографов и расположенных перед ними на рельсе осветительно-сенситометрических устройств, состоявших, в свою очередь, из трех частей: источника света, ступенчатого спектрально-неизбирательного ослабителя света и затвора.

Источником света в первом случае (стеклянная оптика) являлась ленточная лампа накаливания ( $T_{\text{нв}} = 2800^\circ \text{K}$ ), работающая приблизительно при 4,0 В и 14 А, а во втором случае (кварцевая оптика) — водородная лампа большой мощности с прямоугольной щелью, потребляющая в случае пользования постоянным током около 2 А. Сила тока поддерживалась постоянной в пределах  $\pm 1,5\%$  в первом случае и  $\pm 5\%$  во втором. Ослабителями света, осуществлявшими в обоих приборах строго спектрально-неизбирательную ступенчатую шкалу освещенности, являлись наборы из 12 диафрагм с отверстиями, смонтированных на револьверных дисках с 13 отверстиями (одно пустое) и поочередно вводимых в параллельный пучок между линзами соответствующего симметричного конденсора — осветителя. Диафрагмы представляли собой тонкие вычерненные латунные пластинки с большим числом (не менее 40—50) просверленных в них отверстий. Число и диаметр отверстий в каждой диафрагме выбирали таким, чтобы фотоэлектрически измеряемые коэффициенты пропускания  $\tau$  каждого двух последующих диафрагм отличались друг от друга

в  $1,6 \pm 0,1$  раза ( $\Delta D_n = \lg \frac{\tau_n}{\tau_{n+1}} = 0,21 \pm 0,03$ ). Наименьшие отверстия имели

диаметр 0,5 мм. Интервал освещенностей, создаваемый такими ослабителями, составлял в разных экземплярах от 1:240 до 1:340<sup>1</sup>. Для того чтобы соблюдалась полная спектральная неизбирательность ослабления света, отверстия в каждой диафрагме должны быть расположены так, чтобы экранирование светового пучка на разных расстояниях от его оси и в разных направлениях было по возможности одинаковым.

<sup>1</sup> Такой тип геометрического ослабителя света имеет существенные преимущества перед секторными диафрагмами внутри спектрографа [1] в отношении величины интервала освещенностей, воспроизводимости ослабления (особенно при низких коэффициентах пропускания) и т. д.

На рис. 1 показаны две типичные диафрагмы.

Затвор, осуществлявший постоянные в пределах  $\pm 2\%$  выдержки, представлял собой расположенный непосредственно перед входной щелью диск с тремя секторными вырезами, вращаемый синхронным

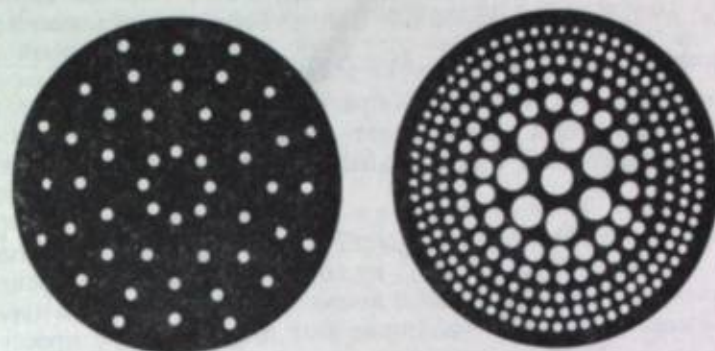


Рис. 1. Образцы диафрагм спектросенситометра.

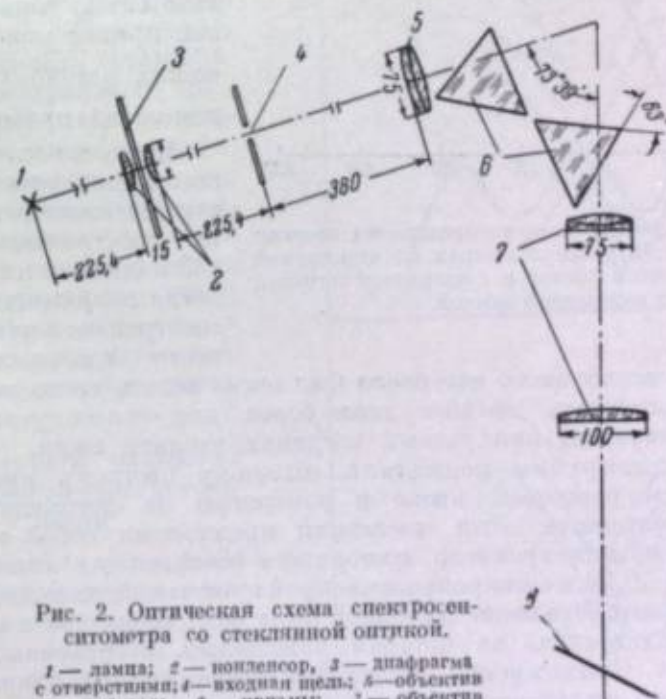


Рис. 2. Оптическая схема спектросенситометра со стеклянной оптикой.

1 — лампа; 2 — конденсор; 3 — диафрагма с отверстиями; 4 — входная щель; 5 — объектив коллиматора; 6 — призма; 7 — объектив камеры; 8 — фокальная плоскость.

мотором со скоростью 15 об/мин. В зависимости от положения диска относительно оси спектрографа выдержки  $t$  составляли 0,05, 0,20 или 1,0 сек.

На рис. 2 представлена схема одного из двух однотипных спектросенситометров — со стеклянной оптикой. Расчет оптики был произведен Н. П. Усановым, конструктивное оформление приборов выполнено Н. П. Мельниковым.



Для определения спектральной чувствительности фотографических материалов необходимо, как известно, знать плотности монохроматических энергетических потоков  $E_\lambda$  в фокальной плоскости спектросенситометра. Такие измерения для двух приборов производились по-разному. Для прибора со стеклянной оптикой и ленточной лампой накаливания применялся прокалиброванный по лампе Гефнера термостолбик ФАИ в потенциометрической схеме (чувствительность  $0,0015 \frac{\mu V}{\text{эрг}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$ , предел измерений  $0,01 \mu V$ ), а для прибора с кварцевой оптикой и водородной лампой — селеновый фотоэлемент (интегральная чувствительность  $400 \mu A/\text{мм}$ ), соединенный с зеркальным гальванометром (чувствительность  $4 \cdot 10^{-4} \mu A/\text{мм}$ ). Фотоэлемент был прокалиброван по ртутным линиям ртутно-кварцевой лампы ПРК-4, в свою очередь измеренным при помощи упомянутого выше термостолбика.

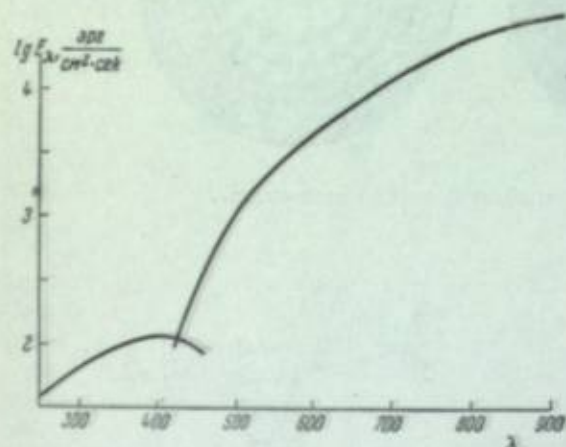


Рис. 3. Кривые абсолютного распределения энергии по спектру в спектросенситометрах со стеклянной оптикой и ленточной лампой и с кварцевой оптикой и водородной лампой.

На рис. 3 приведены измеренные таким образом кривые монохроматических потоков (в  $\frac{\text{эрг}}{\text{см}^2 \cdot \text{сек}}$ ) для обоих приборов.

Методом последовательного экспонирования в спектросенситометрах получали спектросенситограммы с 13 полями; в тех случаях, когда диапазон колебаний спектральной чувствительности отдельных элементарных слоев

испытываемого материала был очень велик, число полей приходилось увеличивать до 16 и даже более, для чего получали по две спектросенситограммы при разных ширинах входной щели.

Спектросенситограммы подвергали обычному цветному проявлению с применением резиновой кисти и измерению на фотоэлектрическом микроспектрофотометре. Этот последний представлял собой светосильный зеркальный монохроматор постоянного отклонения с кинопроекционной лампой 50 W и с микропроекционной приставкой, дававшей уменьшенное в 3 раза изображение входной щели монохроматора в плоскости координатного столика, на котором помещалась измеряемая спектросенситограмма. Ориентировка спектросенситограммы по длинам волн экспонирующего излучения облегчалась тем, что благодаря наличию в спектросенситометре непосредственно перед фокальной плоскостью специальной ограничительной рамки, сбоку каждого поля (спектра) пропечатывались метки для центральных интервалов в 10 и 25 мк. Над координатным столиком располагался специально отобраный для спектрофотометрических измерений селеновый фотоэлемент, соединенный с высокочувствительным зеркальным гальванометром. Оптические плотности на полях спектросенситограмм измерялись через 10 мк каждый раз при трех длинах волн — 460, 530 и 670 (или 690) мк. Оценка методом, описанным в предыдущей статье [3], определила относительные поверх-

ностные концентрации красителей в элементарных слоях многослойного материала ( $c_{\text{top}}$ ,  $c_{\text{m}}$  и  $c_{\text{r}}$ ), после чего строили монохроматические характеристические кривые  $C = f(\lg H_\lambda)$ .

Критерием спектральной чувствительности  $S_\lambda$  служило определенное значение относительной концентрации красителя. Обычно это была концентрация 0,7, как правило отвечающая средней части прямолинейного участка характеристической кривой. В некоторых же случаях критерием были концентрации 0,5 и 1,0:

$$S_\lambda = \left( \frac{1}{H_\lambda} \right)_{C=\text{const}}$$

где  $H_\lambda = E_\lambda \tau l_{\text{вх}}$ , причем  $E_\lambda$  — плотность потока монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda$ , проходящего через фокальную плоскость прибора при ширине входной щели  $l_{\text{вх}} = 1$  мм. Размерность  $S_\lambda$  —  $\text{см}^2/\text{эрг}$ .

Поскольку в каждой измеряемой точке на спектросенситограмме определяли по три концентрации, то в результате получались семейства из трех кривых спектральной чувствительности  $\lg S_\lambda = f(\lambda)$  для трех элементарных слоев многослойного материала. Естественно, что объединить характеристики спектрального распределения светочувствительности цветофотографического материала в одну кривую, аналогичную той, которая характеризует спектральные свойства чернотелого материала, ввиду особенностей строения и использования многослойного материала, невозможно.

### 3. Результаты измерения спектральной чувствительности

Исследованию были подвергнуты четыре пленки: две негативные для дневного света (типа ДС-1) и две позитивные. На рис. 4 и 5 приведены семейства кривых спектральной чувствительности как для случая основного критерия светочувствительности (0,7), так и для двух других критериев.

Сравнение кривых негативных и позитивных материалов показывает, что верхние (несенсибилизированные) слои тех и других обладают практически совершенно одинаковым распределением светочувствительности с максимумом при  $\lambda = 380$  мк, что отвечает установленной ранее [4, 5]

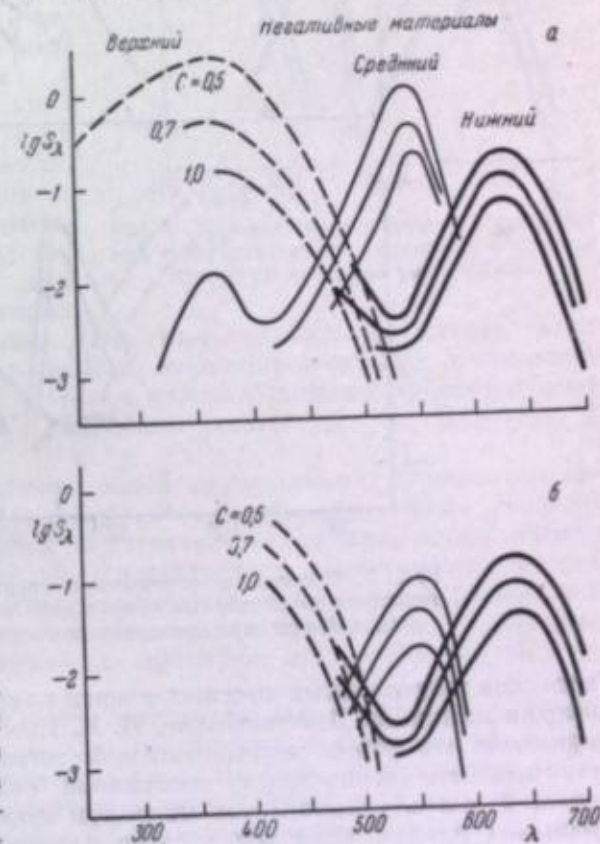


Рис. 4. Кривые энергетической спектральной чувствительности элементарных слоев в двух негативных пленках (а и б) для дневного света при трех критериях светочувствительности.



второй по спектральным свойствам группе несенсибилизированных слоев. Таким образом, распределение собственной светочувствительности черно-белых и цветных материалов существенно различно: у всех сколь угодно высокочувствительных черно-белых материалов максимум лежит примерно при  $\lambda = 450$  мк. Это различие объясняется, по видимому, значительно меньшей (в 3—4 раза) толщиной верхнего несенсибилизирован-

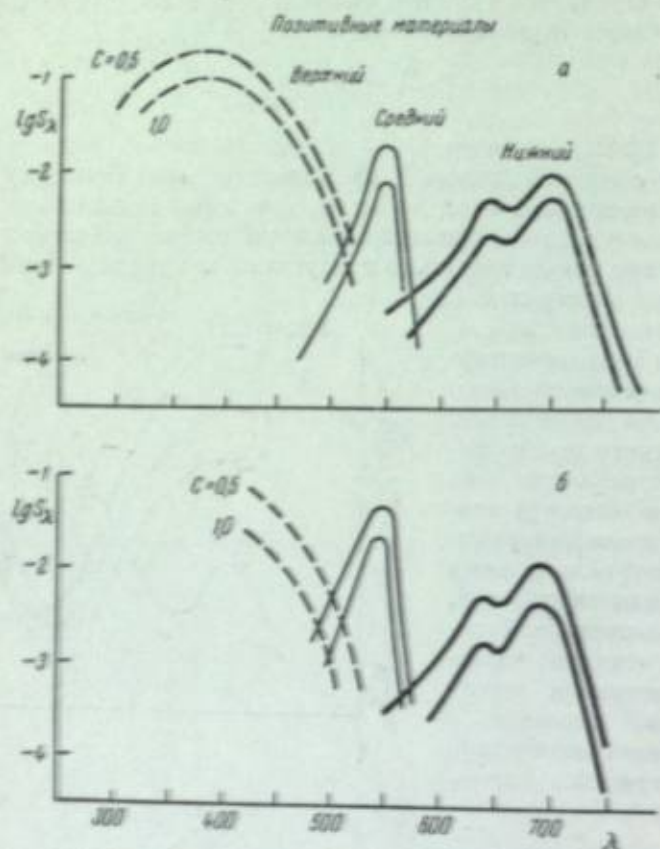


Рис. 5. Кривые энергетической спектральной чувствительности элементарных слоев в двух положительных пленках (а и б) при двух критериях светочувствительности.

ного слоя многослойных цветных пленок по сравнению с обычными черно-белыми пленками. Действительно, И. И. Брейдо и Ю. Н. Гороховский [6] показали, что форма коротковолновой ветви кривой спектральной чувствительности черно-белых материалов сильно зависит от толщины слоя. У очень тонких слоев максимум кривой лежит при значительно меньшей длине волны, чем у слоев нормальной толщины. Это вызвано высоким поглощением ультрафиолетовых излучений и вытекающим отсюда неиспользованием нижних частей толстого эмульсионного слоя.

Средние (деленочувствительные) слои в свою очередь сходны в обоих случаях максимум светочувствительности лежит при  $\lambda = 550$  мк, но ширина полосы сенсibilизации у негативных материалов несколько больше, чем у положительных. Напротив, нижние (красночувствительные) слои отличаются значительно: если у негативных материалов имеется одна полоса сенсibilизации с максимумом при  $\lambda = 640$  мк, причем ширина полосы такая же, что и у среднего слоя, то у положительных материалов

полоса сенсibilизации несколько шире: кроме того же максимума, что у негативных материалов, при  $\lambda = 640$  мк имеется еще второй, более высокий максимум при  $\lambda = 690$  мк.

Соотношение положений кривых каждого семейства по высоте характеризует не столько собственно спектральные свойства материала, сколько соотношение общих светочувствительностей трех слоев, т. е. определяется взаимным положением их характеристических кривых, которое у разных материалов весьма различно.

Из приведенных данных видна недостаточная основательность распространенной точки зрения, что положительные материалы характеризуются значительно лучшим делением, чем негативные, — что будто бы у первых полосы сенсibilизации «изолированы» (не соприкасаются), а у вторых «перекрываются». На самом деле различие в этом отношении невелико: все три кривые спектральной чувствительности в обоих случаях в значительной степени накладываются друг на друга. Это делает, в частности, невозможным строго раздельное экспонирование отдельных элементарных слоев как негативных, так и положительных материалов при помощи надлежаще выбранных монохроматических излучений. Даже при оптимальных длинах волны экспонирование одного слоя в какой-то мере сопровождается «доэкспонированием» остальных слоев. О таком явлении «доэкспонирования» будет специально идти речь в следующей статье Д. К. Балабуха и Ю. Н. Гороховского [7].

Как видно из семейства кривых одной из негативных пленок, экранирующее действие верхнего эмульсионного и промежуточного желтого фильтрового слоев оказывается недостаточным для того, чтобы нацело устранить действие излучений области собственной светочувствительности двух нижних слоев. Так, ультрафиолетовые излучения в диапазоне  $\lambda$  примерно от 340 до 370 мк дают не желтое, как можно было бы ожидать, а красновато-бурое изображение, а примерно от  $\lambda = 370$  мк до  $\lambda = 400$  мк — желтовато-серое.

Были поставлены специальные опыты для выяснения того, в какой мере продолжительность цветного проявления отражается на форме кривых спектральной чувствительности. На рис. 6 приведены соответствующие кривые для положительной пленки при 6 и 11 мин. проявления. Из них видно, что в известных границах уменьшение времени проявления по сравнению с нормальным не отражается на форме кривых.

#### 4. Форма монохроматических характеристических кривых

Представляет значительный интерес вопрос о том, зависит ли и если зависит, то каким образом, форма характеристической кривой элементарного слоя от длины волны действующего излучения. Дело в том, что, как показал П. В. Мейкляр, в случае черно-белой фотографии лишь для слоев, форма характеристической кривой которых не зависит от длины

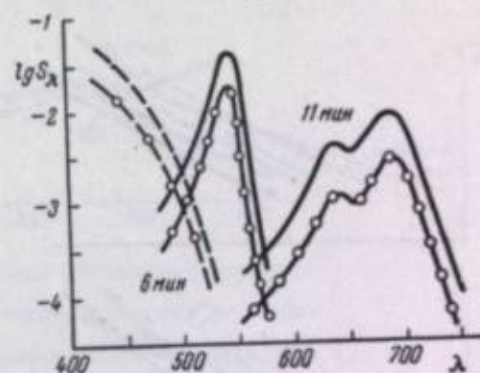


Рис. 6. Кривые энергетической спектральной чувствительности положительной пленки при двух временах проявления.



волим, соблюдается правило аддитивности фотографического действия спектрально смешанных излучений. Правило аддитивности исходит из того, что при действии на фотографический слой сложных излучений равноценны фотографически эквивалентные количества любых входящих в сложное излучение простых излучений, т. е. количества, обратно пропорциональные светочувствительности слоя к этим излучениям. Естественно, что лишь при постоянстве формы монохроматических характеристических кривых эквивалентность не зависит от выбранной

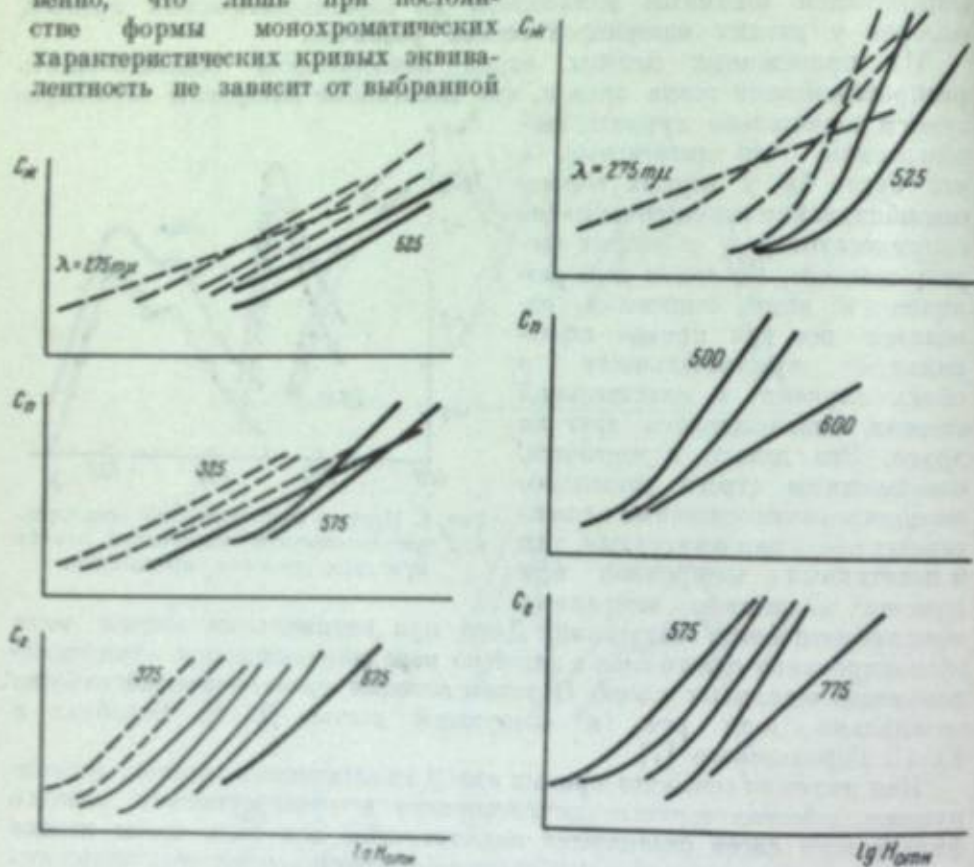


Рис. 7. Монохроматические характеристические кривые  $c = f(\lg H_\lambda)$  элементарных слоев негативной пленки в интервалах через 50 мμ.

Взаимное расположение кривых произвольно.

Рис. 8. Монохроматические характеристические кривые  $c = f(\lg H_\lambda)$  элементарных слоев позитивной пленки в интервалах через 50 мμ.

Взаимное расположение кривых произвольно.

плотности почернения и, следовательно, возможно суммировать фотографические действия, производимые входящими в состав сложного излучения монохроматическими излучениями. Возможность непосредственного использования данных спектральной сенситометрии для определения фотографических действий, производимых сложными излучениями в каждом из элементарных слоев, в случае цветной фотографии, где часто необходимы соответствующие расчеты, представляется весьма заманчивой.

На рис. 7 и 8 представлены семейства монохроматических характеристических кривых двух из исследованных нами материалов, а на рис. 9 и 10 — кривые зависимости коэффициента контрастности  $\gamma_\lambda = \left(\frac{dc}{d \lg H_\lambda}\right)_{\max}$  всех четырех материалов от длины волны. На этих кривых видно, что

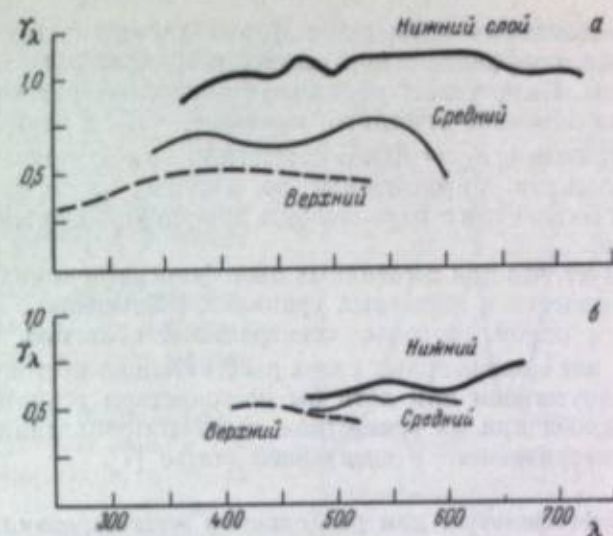


Рис. 9. Кривые зависимости коэффициента контрастности  $\gamma_\lambda = \left(\frac{dc}{d \lg H_\lambda}\right)_{\max}$  элементарных слоев в двух негативных пленках от длины волны действующего излучения.

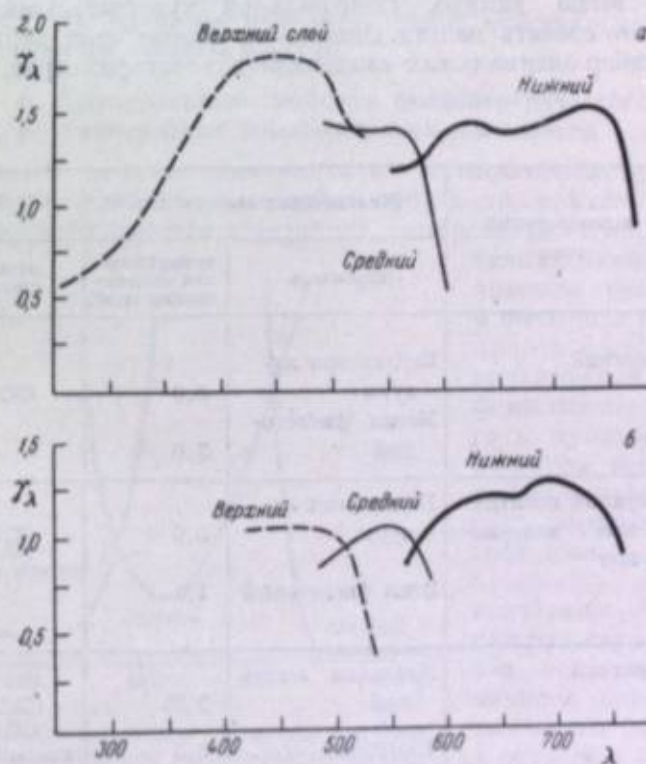


Рис. 10. Кривые зависимости коэффициента контрастности  $\gamma_\lambda = \left(\frac{dc}{d \lg H_\lambda}\right)_{\max}$  элементарных слоев в двух позитивных пленках от длины волны действующего излучения.



у изучаемых негативных материалов форма характеристической кривой и, соответственно, коэффициент контрастности сравнительно мало зависят от длины волны. Напротив, у обоих позитивных материалов эта зависимость выражена довольно отчетливо: кривые  $\gamma_\lambda = f(\lambda)$  в первом приближении подобны кривым  $\lg S_\lambda = f(\lambda)$ . Соответственно этому кривые спектральной чувствительности, определенные по разным критериям, в первом случае (рис. 4) более строго параллельны друг другу, нежели во втором случае (рис. 5).

Отсюда следует, что для негативных цветофотографических материалов правило аддитивности в известных границах соблюдается. Эти границы определяются, с одной стороны, спектральной областью, в которой  $\gamma_\lambda$  интересующих нас элементарных слоев действительно постоянна, а с другой стороны, отсутствием или хотя бы постоянством взаимного влияния элементарных слоев при их совместном цветном проявлении — явления, подробно рассматриваемого в следующей статье [7].

### 5. Светофильтры для раздельного экспонирования отдельных элементарных слоев

При изучении свойств элементарных слоев в многослойном материале в некоторых случаях требуется проэкспонировать тот или иной отдельный слой, по возможности не затрагивая остальные два слоя. Как следует из приведенных выше данных спектральной чувствительности, совершенно точно это сделать нельзя. Однако на основе этих данных можно разработать набор оптимальных «выделяющих» светофильтров, т. е. таких,

Таблица 1

Цвет светофильтра	экспонируемый слой	Желатиновый светофильтр		Стеклопленочный светофильтр	
		краситель	поверхностная концентрация (г/м <sup>2</sup> )	марка стекла	толщина (мм)
фиолетовый	верхний	Берлинская лазурь	3,0	ФС-1	8
		Метил фиолетовый	3,0		
синий	верхний позитивных материалов	Берлинская лазурь	5,0	СС-8	8
		Этил фиолетовый	1,0		
зеленый	средний	Нафгалки зеленый	2,35	СЗС-7 ОС-8 кислотный зеленый	5 1,0 9 г/м <sup>2</sup>
		Тартрацин	3,5		
красный	нижний	Кислый роданин	3,0	КС-8 или КС-14	2,0 10
		Тартрацин	2,0		

при установке которых в сенситометре или в каком-либо ином экспонирующем устройстве происходит наиболее сильное экспонирование одного из слоев при наименьшем возможном экспонировании остальных слоев.

Такие светофильтры были разработаны в двух вариантах — желатиновые и стеклянные (8). В табл. 1 приводятся некоторые характеристики этих светофильтров.

Кривые поглощения стеклянных светофильтров (кривые оптических плотностей) приведены на рис. 11.

Параллельное экспонирование как негативных, так и позитивных материалов, с одной стороны, за каждым из светофильтров, т. е. светом сравнительно узкой спектральной зоны, а с другой стороны, монохроматическим светом самых различных длин волн, экспериментально подтвердило, что не существует монохроматических излучений, которые бы лучше «выделяли» элементарные слои, чем сложные излучения узкой спектральной зоны, пропускаемые нашими светофильтрами.

### 6. Спектральные свойства фотоэлектрического измерителя копировальных плотностей

Полученные данные спектральной чувствительности цветофотографических материалов позволили произвести анализ спектральных свойств фотоэлектрического измерителя копировальных плотностей негативных киноплёнок, получившего распространение в последние годы [9]. Этот прибор состоит из лампы накаливания, селенового фотоэлемента, соединенного с мультифлекс-гальванометром, имеющим логарифмическую шкалу, и трех сменных светофильтров (синего, зеленого и красного); светофильтры подобраны так, чтобы в каждом случае спектральное распределение актиничного потока, воспринимаемого фотоэлементом, в основном соответствовало спектральному распределению фотоактиничного

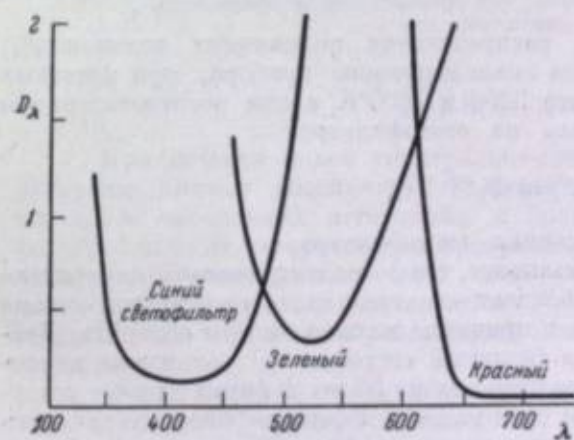


Рис. 12. Кривые поглощения светофильтров фотоэлектрического измерителя копировальных плотностей.

потока, воспринимаемого в печатающем (копировальном) устройстве одним из элементарных слоев позитивной пленки. Представляло интерес выяснить, в какой мере это условие действительно соблюдается.

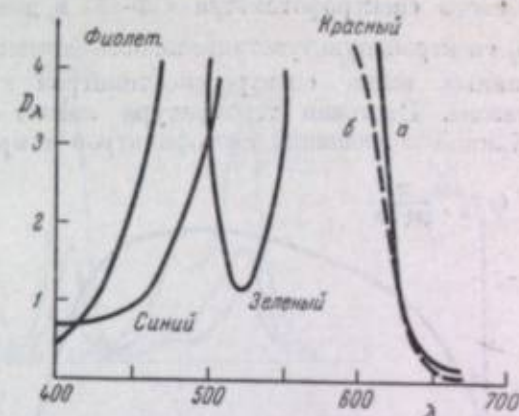


Рис. 11. Кривые поглощения стеклянных «выделяющих» светофильтров.



Мы измерили в нашем распоряжении приборе: 1) цветовую температуру лампы по синие-красному отношению, 2) монохроматические оптические плотности светофильтров — при помощи фотоэлектрического спектрофотометра СФ-11 в диапазоне  $\lambda$  от 300 до 800 м $\mu$  и 3) спектральную чувствительность фотоэлемента  $S_{\lambda}^{\text{ф.эл}}$  при помощи описанных выше спектросенситометров в том же спектральном диапазоне. Цветовая температура лампы оказалась равной  $3150 \pm 50^{\circ}\text{K}$ . Кривые поглощения светофильтров и кривая спектральной чувствительности фотоэлемента представлены на рис. 12 и 13. Кроме того, мы измерили цветовую температуру лампы кинокопировальных аппаратов, применяемых для цветной печати. Она оказалась равной  $2600^{\circ}\text{K}$  в одном случае и  $3100^{\circ}\text{K}$  — в другом случае.

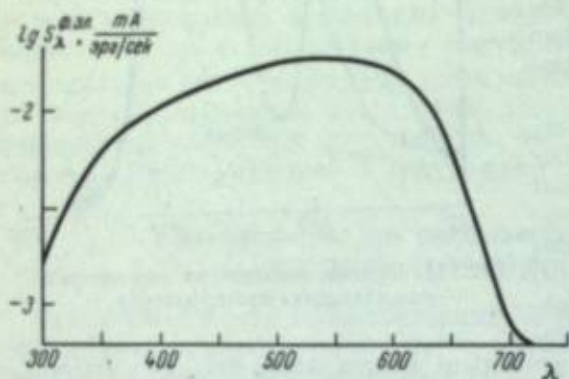


Рис. 13. Кривая абсолютной спектральной чувствительности селенового фотоэлемента фотоэлектрического измерителя копировальных плотностей.

На основе этих данных были определены (см. рис. 14):

1) кривые спектрального распределения фотоактивных потоков  $A_{\lambda}$  для каждого элементарного слоя позитивной пленки при цветовых температурах лампы кинокопировального аппарата  $2600^{\circ}$ ,  $2850^{\circ}$  и  $3200^{\circ}\text{K}$ :

$$A_{\lambda} = \Phi_{\lambda} S_{\lambda}^{\text{ф.эл}}$$

где  $\Phi_{\lambda}$  — монохроматический поток в излучении черного тела заданной температуры;

2) кривые спектрального распределения активных потоков  $F_{\lambda}$ , воспринимаемых фотоэлементом анализируемого прибора, при цветовых температурах лампы последнего  $2850$  и  $3200^{\circ}\text{K}$  и при последовательном экранировании лампы каждым из светофильтров:

$$F_{\lambda} = \Phi_{\lambda} S_{\lambda}^{\text{ф.эл}} \tau_{\lambda}$$

где  $\tau_{\lambda}$  — коэффициент пропускания светофильтра.

Сравнение кривых ясно показывает, что фотоэлектрический измеритель копировальных плотностей обладает спектральными свойствами, весьма далекими от тех, которыми он в принципе должен был бы обладать. Действительно, для нижнего слоя (красный светофильтр) положение максимумов тех и других кривых различаются на 50 м $\mu$  и форма кривых совершенно различна. Для верхнего слоя максимум фотографического действия [ $A_{\lambda} = f(\lambda)$ ] расположен при длине волны на 40 м $\mu$  более короткой, чем максимум реакции фотоэлемента в приборе, [ $F_{\lambda} = f(\lambda)$ ]. Наконец, для среднего слоя различие в положении максимумов сравнительно невелико (около 15 м $\mu$ ), однако форма тех и других кривых совершенно различна: фотографическое действие сосредоточено в гораздо более узкой зоне спектра, чем реакция фотоэлемента в приборе.

Таким образом, анализ свойств прибора показывает, что измеряемые на нем оптические плотности цветных полей негативных материалов

не представляют собой действительных копировальных плотностей. Вместе с тем этот прибор, как и всякий другой фотометр, снабженный набором зональных светофильтров, вполне пригоден для численной констатации ахроматичности цветного поля, для чего его в основном и применяют.

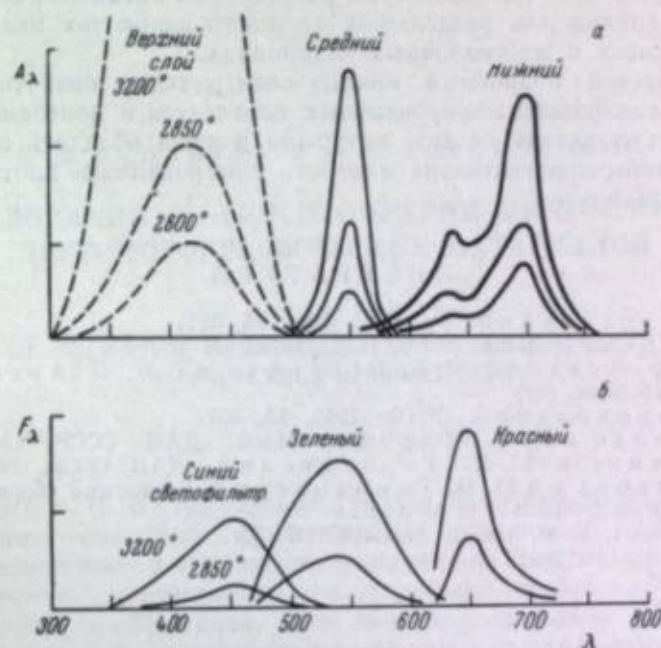


Рис. 14. а — кривые спектрального распределения фотоактивных потоков для элементарных слоев позитивной пленки при разных цветовых температурах источника света копировального устройства; б — кривые спектрального распределения активных потоков, воспринимаемых селеновым фотоэлементом денситометра при разных цветовых температурах его лампы.

## 7. ВЫВОДЫ

1. При помощи новой спектрально-сенситометрической аппаратуры измерены кривые абсолютной энергетической спектральной чувствительности нескольких негативных и позитивных многослойных цветопечатных материалов на прозрачной подложке. Степень взаимного наложения спектральных зон светочувствительности составляющих многослойный материал элементарных слоев во всех случаях достаточно значительна и мало различается для негативных и позитивных материалов.

2. Форма кривой спектральной чувствительности в малой степени зависит от времени проявления и, в случае негативных материалов, от выбранного критерия светочувствительности.

3. У негативных материалов зависимость формы характеристической кривой элементарного слоя от длины волны действующего излучения выражена слабо, что практически делает, повидимому, возможным использование в достаточно широких границах правила аддитивности для расчета фотографического действия, производимого излучениями сложного спектрального состава.



4. В случае нелинейных материалов искажающее действие выжженных слоев недостаточно для полного устранения действия излученной области собственной светочувствительности двух нижних (сенситивизируемых) слоев.

5. На основе полученных данных разработаны оптимальные «выжженные» светофильтры для раздельного экспонирования тех или иных элементарных слоев в многослойных материалах.

6. Приведен подробный анализ спектральных свойств фотоэлектрического измерителя копировальных плотностей и показано, что эти свойства весьма далеки от тех, которыми должен обладать этот прибор для того, чтобы действительно измерять копировальные плотности негативных киноплёнок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Гороховский. Тр. ГОИ, 1941, 14, 321.
2. Ю. Н. Гороховский. ЖТФ, 1946, 16, 55.
3. Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг. Настоящий сборник, стр. 85.
4. Ю. Н. Гороховский. ЖТФ, 1942, 13, 357.
5. И. И. Брейдо и Ю. Н. Гороховский. ДАН СССР, 1949, 28, 763.
6. И. И. Брейдо и Ю. Н. Гороховский. ДАН СССР, 1949, 65, 633.
7. Д. К. Балабуха и Ю. Н. Гороховский. Настоящий сборник, стр. 119.
8. Каталог цветного стекла 106. М. 1951.
9. W. Behrendt. Wiss. Veroff. Agfa, 1951, 7, 32.

Д. К. БАЛАБУХА и Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ

### ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕНСИТОМЕТРИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

#### III. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СЛОЕВ ПРИ ЦВЕТНОМ ПРОЯВЛЕНИИ

##### 1. Постановка задачи

Еще в 1906 г. С. К. Костинский [1] при фотографировании двойных звезд впервые обнаружил, что истощение проявителя в проявляемом фотографическом слое и накопление в последнем продуктов реакции проявления влияет на распределение металлического серебра в образующемся фотографическом изображении. Это явление, названное явлением Костинского, выражалось в изменении расстояния между центрами фотографических изображений обеих звезд при изменении условий проявления. Впоследствии Эбергард [2] установил аналогичное по своей природе явление перераспределения металлического серебра на краях фотографических изображений. Это явление выражается в местном относительном изменении контраста при изменении условий проявления, в повышении оптической плотности на краю более темного участка и понижении ее на краю более светлого участка. Исследование микросрезов проявленного слоя при разных временах его проявления показало [3], что на начальных стадиях проявления действие проявителя ограничивается поверхностной частью эмульсионного слоя, а затем распространяется в глубину слоя. Причина этого явления заключается в том, что вышележащие части слоя, истощая фильтрующийся через них проявитель и обогащая его продуктами реакции, понижают способность проявителя проявлять глубоко лежащие части эмульсионного слоя, поскольку диффузионный обмен между желатиновым слоем и раствором происходит сравнительно медленно. Влияние истощения проявителя в слое на распределение почернения исследовал Н. Н. Валенков [4] и более детально И. И. Брейдо [5], влияние же состава проявителя (буферности) на его истощение в слое и, тем самым, на получающиеся плотности изучали С. Г. Богданов и Н. В. Полякова [6]. И. И. Брейдо показала, что величина пограничного эффекта проявления сильнейшим образом зависит от резкости оптического изображения, получающегося на слое при экспонировании. Чем резкость меньше, тем меньше сказывается пограничный эффект проявления; при известных условиях он исчезает. С другой стороны, С. Г. Богданов и Н. В. Полякова показали, что истощение проявителя в слое, даже при остающемся неизменным составе проявителя в растворе, является важнейшим фактором,



определяющим кинетику проявления. Чем менее забуферен проявитель в отношении его щелочности и окислительно-восстановительной способности, тем более пологими становятся кривые кинетики проявления:  $D = f(t_{exp})$  и  $\gamma = f(t_{exp})$ .

Очевидно, что если при проявлении однослойного черно-белого материала истощение проявителя играет столь значительную роль, то тем более можно ожидать влияния истощения при проявлении многослойного цветного материала. Действительно, в этом случае проявление каждого из трех элементарных слоев многослойной пленки должно происходить в существенно различных условиях: верхний слой — в наиболее благоприятных, нижний слой — в наименее благоприятных. При этом кинетика проявления каждого из элементарных слоев будет зависеть от того, в какой мере экспонированы остальные элементарные слои, т. е. от того, как будет протекать в них процесс цветного проявления. Следует также иметь в виду, что цветные проявители, в отличие от обычных черно-белых, содержат в 2—3 раза меньше проявляющего вещества и весьма малые количества сульфата натрия, а потому гораздо менее забуферены в отношении окислительно-восстановительных свойств. Кроме того, существенно, что производные парафенилендиамина, используемые в таких проявителях, обладают крайне малой сопротивляемостью действию ионов брома, образующихся при проявлении [7].

Естественно, что рассмотренное выше явление взаимного влияния элементарных слоев при проявлении не может не влиять на характер цветовоспроизведения. Если, например, средствами многослойной цветной фотографии воспроизводят два цвета, для осуществления которых необходимы равные количества одного (или двух) красителей и различные количества других (или третьего) красителей, то вследствие наличия указанного выше явления цветные поля, отвечающие этим цветам, будут образовываться неравными количествами всех трех красителей. Поэтому по крайней мере один из цветов будет воспроизведен неверно. Иными словами, данный фотоактивный поток будет оказывать на соответствующий элементарный слой многослойного материала не постоянное, а различное фотографическое действие, в зависимости от того, каковы фотоактивные потоки, действующие на остальные элементарные слои. Понятие характеристической кривой элементарного слоя при этих условиях перестает быть однозначным.

Все изложенное выше побудило нас предпринять сенситометрическое исследование кинетики проявления многослойных цветофотографических материалов с точки зрения взаимного влияния элементарных слоев этих материалов.

## 2. Методика исследования

На рис. 1 в схематической форме представлены три практически встречающиеся варианта взаимного влияния элементарных слоев для простейшего случая, когда в одном из слоев многослойного материала проэкспонирована сенситограмма (действовал закономерный ряд экспозиций), а один из остальных слоев равномерно освещен. Рисунок состоит из трех чертежей; в верхней части каждого из них изображены характеристические кривые одного слоя, а в нижней части — кривые пространственного распределения красителя (его концентрации  $C$ ) в равномерно экспонированном втором слое. Сплошными линиями изображены идеальные кривые, отвечающие случаю отсутствия взаимного влияния слоев, а пунктирными линиями — реальные кривые. Случай *a* соответствует в чистом виде описанному выше явлению взаимного влияния слоев при

проявлении. Случай *b* соответствует явлению «доэкспонирования», заключающемуся в том, что ввиду частичного наложения спектральных областей светочувствительности отдельных слоев [8] любое излучение, активное по отношению к одному слою, в какой-то мере в большинстве случаев активно и по отношению к другим слоям. Случай *c* — наиболее распространенный случай сочетания обоих этих явлений; практически мы имеем возможность судить об интересующем нас эффекте проявления главным образом по этому комбинированному случаю. Особо следует отметить, что, подобно понятию о характеристической кривой элементарного слоя, понятие о вуали при наличии указанных явлений также перестает быть однозначным.

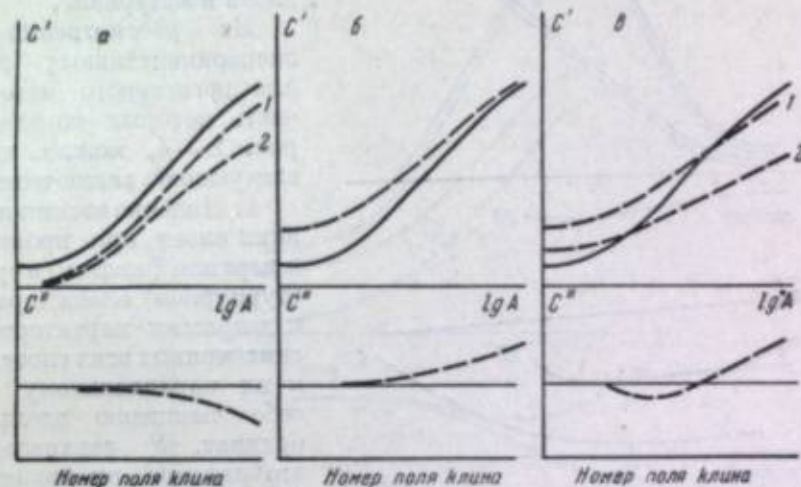


Рис. 1. Схема трех вариантов взаимного влияния элементарных слоев многослойного материала при цветном проявлении.  
1 — депрессия кривой; 2 — падение контраста

Для упрощения анализа исследуемого нами явления во всех опытах производилось экспонирование только двух элементарных слоев: ступенчатое — для одного слоя и равномерное — для другого. Для отдельного экспонирования слоев многослойных материалов — негативной пленки для дневного света и позитивной пленки — применялись оптимальные с точки зрения выделения отдельных слоев синий, зеленый и красный выделяющие светофильтры, описанные ранее [8]. Экспонирование проводили в сенситометре ГОИ [9] в два приема, причем для равномерного освещения клин из сенситометра удаляли.

Проявление велось обычным образом [10] в кювете  $9 \times 12$  см с резиновой кистью при температуре  $18 \pm 0,2^\circ$ . Проявитель использовали через 1—2 суток после его изготовления, причем норма расхода проявителя составляла  $100 \text{ мл/дм}^2$ . Такова же была норма расхода останавливающей ванны. Фотометрическая обработка полученных сенситограмм осуществлялась спектрофотометрическим методом [11], согласно которому результат действия света выражается в виде относительных концентраций ( $C$ ) красителей в элементарных слоях. После этого строили характеристические кривые  $C = f(\lg H)$ .

## 3. Результаты исследования

На рис. 2—4 представлены результаты исследования негативного материала при двух временах проявления: обычно практически



применяемом—6 мин. и значительно большем—20 мин. На этих рисунках содержатся данные для трех из шести возможных случаев экспонирования двух элементарных слоев — одного ступенчатого и другого равномерного, причем приводятся кривые распределения красителей в каждом из случаев по полям сенситограмм. Каждый из рисунков объединяет два семейства кривых — для случая отсутствия равномерного освещения

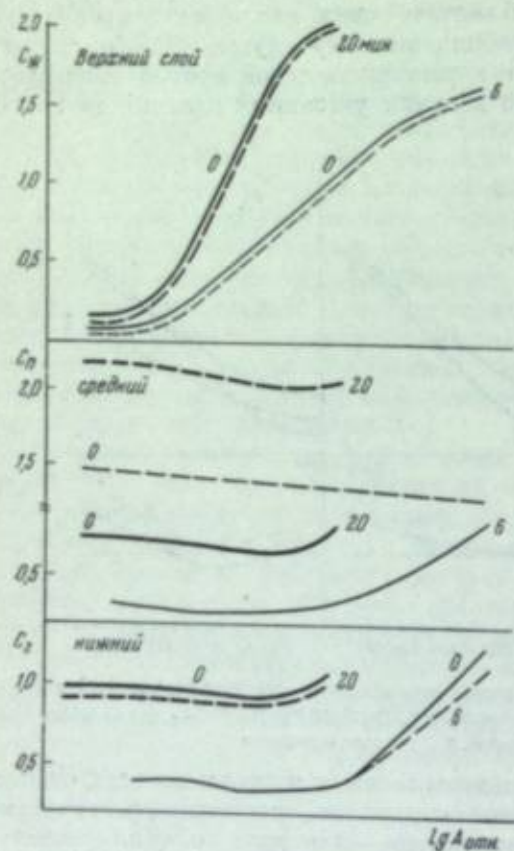


Рис. 2. Явление взаимного влияния элементарных слоев негативного материала в случае ступенчатого экспонирования верхнего слоя и равномерного экспонирования среднего слоя, при двух временах проявления.

0 — кривые в отсутствие равномерного экспонирования.

4. В результате взаимного влияния слоев при проявлении в элементарных слоях в отдельных случаях могут образовываться количества красителей, меньшие тех, которые соответствуют вуали, наблюдаемой после проявления совершенно не экспонированного цветофотографического материала.

5. Дозэкспонирование номинально неосвещаемых слоев наблюдается в основном при действии синего (экспонирующего верхний слой) света на средний и нижний слои и, в меньшей степени — зеленого (экспонирующего средний слой) света на верхний слой.

6. Сочетание явления взаимного влияния слоев при проявлении и явления доэкспонирования приводит к появлению минимума на кривых равномерно экспонированных и даже номинально совершенно не экспонированных слоев.

(0) и для случая его наличия. Кривые каждого из семейств расположены одна над другой в порядке расположения самих элементарных слоев в материале.

Из рассмотрения всех экспериментальных данных для негативного материала, часть которых показана на рис. 2—4, можно сделать следующие заключения.

1. Явление взаимного влияния слоев при проявлении в верхнем (желтом) и среднем (пурпурном) слоях приводит к депрессии характеристических кривых этих слоев, т. е. к их параллельному самому себе смещению вдоль оси ординат. У верхнего слоя это явление проявляется в малой степени, у среднего — в значительно большей.

2. В нижнем (голубом) слое взаимное влияние слоев выражается в уменьшении наклона прямолинейного участка характеристической кривой, т. е. в падении коэффициента контрастности.

3. С увеличением времени проявления взаимное влияние слоев ослабляется, хотя и не исчезает полностью.

Аналогичное исследование положительного материала, проведенное при трех временах проявления — меньшем практически применяемого (5 мин.), практически применяемом (11 мин.) и значительно более длительном (20 мин.) — привело нас, за небольшим исключением, к таким же выводам. Некоторым отличием этих опытов от опытов с негативным

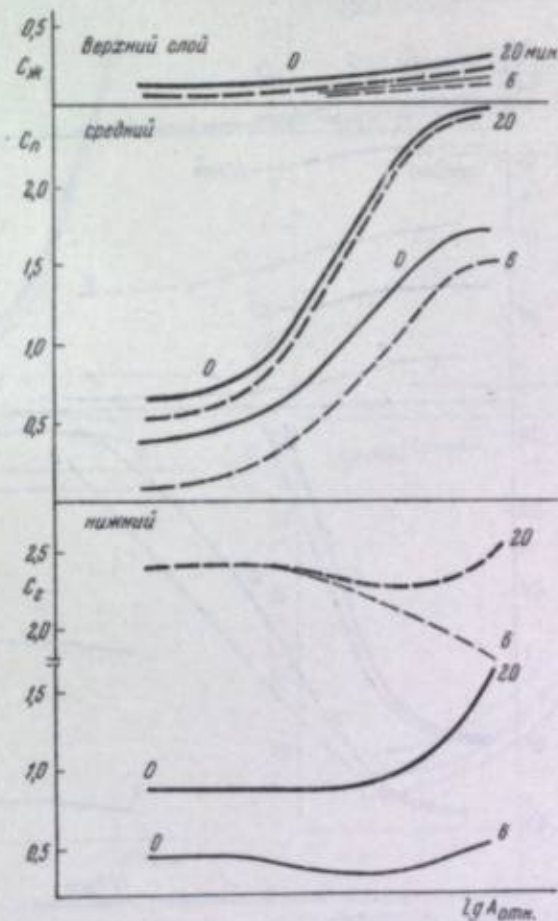


Рис. 3. То же, что на рис. 2, при ступенчатом экспонировании среднего слоя и равномерном экспонировании нижнего слоя.

материалом являлось то, что применялся не один, а два уровня равномерного освещения. Часть результатов этого исследования представлена на рис. 5 и 6 в той же форме, что и на рис. 2—4, причем рис. 5 иллюстрирует в чистом виде явление взаимного влияния слоев при проявлении, а рис. 6 — сильно выраженное явление доэкспонирования. Вследствие иного спектрального распределения светочувствительности отдельных слоев доэкспонирование у положительного материала отличается от доэкспонирования у негативного материала тем, что сильнее всего проявляется действие зеленого света на нижний слой, а несколько менее — действие красного света на средний слой.

Часть результатов в несколько более общей форме представлена также на рис. 7 и 8, где показано, как изменяются коэффициент контрастности



и часть <sup>2</sup> одного из слоев с изменением концентрации красителя в другом равномерно освещенном слое. Из этих последних рисунков видно, что в верхних двух слоях, как и в негативном материале, происходит только депрессия арримиановой участка характеристической кривой, в нижнем же слое наблюдается падение коэффициента контрастности, исчезающее при больших временах проявления.

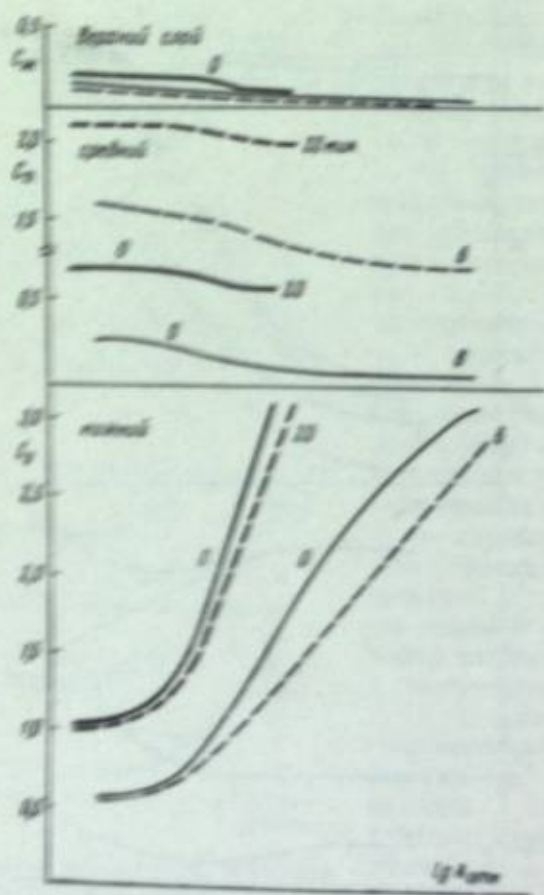


Рис. 4. То же, что на рис. 2, при ступенчатом экспонировании нижнего слоя и равномерном экспонировании среднего слоя.

Заслуживает внимания то обстоятельство, что во всех случаях, когда отсутствует доэкспонирование, концентрация красителя в одном слое данного материала при каждом данном времени проявления линейно связана с концентрацией красителя в другом слое. Примеры двух таких зависимостей для одной и той же пары слоев при различных условиях экспонирования для 11-минутного проявления приведены на рис. 9.

<sup>2</sup> В данном случае термин «чужды» следует понимать несколько расширенно по сравнению с его обычным значением, принятым в черно-белой фотографии. Вследствие взаимного влияния слоев при доэкспонировании в не подмерзавших до ступенчатому, не равномерному специальному освещению слоев после цветного проявления образуются количества красителей, отличные от красящих истинной визуаль. т. е. вполне совершенно не экспонированного многослойного материала. В этом случае можно говорить об «ослабленной визуаль».

Сравнение характера рассматриваемого нами явления взаимного влияния слоев в случае негативных и позитивных материалов показало, что при одинаковых временах проявления это явление протекает

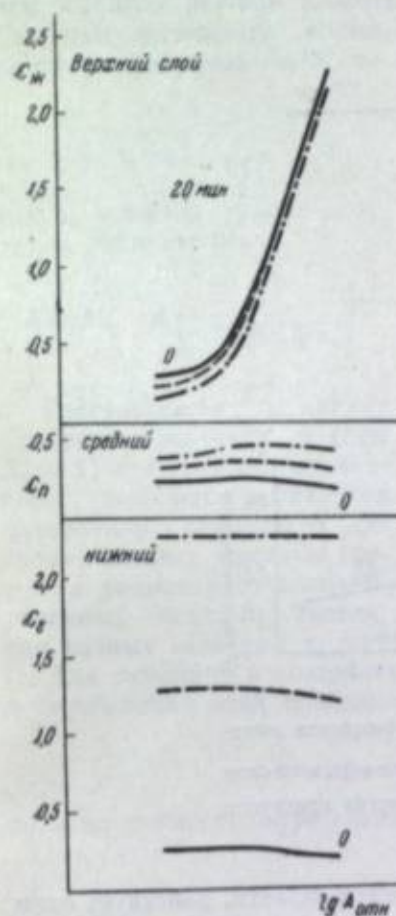


Рис. 5. Явление взаимного влияния элементарных слоев позитивного материала в случае ступенчатого экспонирования верхнего слоя и двух уровней равномерного экспонирования нижнего слоя. 0 — кривые в отсутствие равномерного экспонирования.

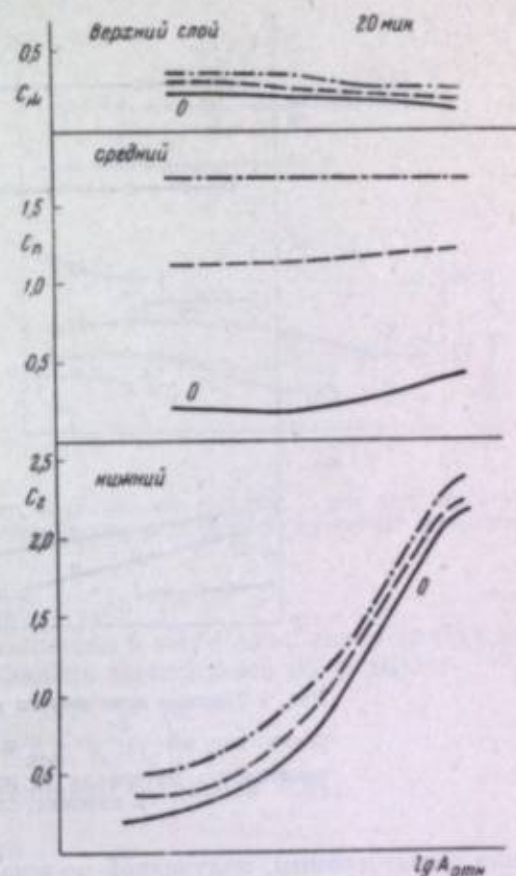


Рис. 6. То же, что на рис. 5, при ступенчатом экспонировании нижнего слоя и двух уровнях равномерного экспонирования среднего слоя.

одинаково. Наибольшие применявшиеся нами времена проявления (20 мин.) были недостаточны для его полного устранения.

#### 4. Доэкспонирование элементарных слоев

Специальными опытами было доказано, что при раздельном экспонировании отдельных слоев многослойной пленки действительно происходит так называемое доэкспонирование слоев светом, который номинально не должен был бы на них действовать. Хотя это явление не относится непосредственно к теме данной статьи и соприкасается с вопросом, рассматривавшимся в предыдущей статье [8], но оно настолько тесно



пересчитывается с учетом взаимного влияния слоев, что нам представляется уместным привести доказательство его существования именно здесь.

На рис. 10 приведена схема, показывающая, как изменяется при прочих равных условиях форма характеристической кривой, если на все

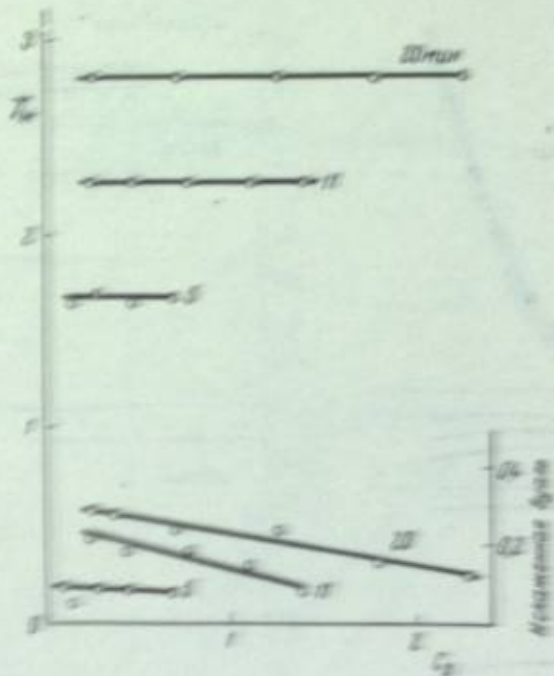


Рис. 7. Кривые зависимости коэффициента контрастности  $\gamma = \left( \frac{d\epsilon}{d \lg H \right)_{\text{max}}$  в узлах верхнего слоя по отношению к количеству красителя в нижнем слое.

этих сенситограмм, полученной по шкале освещенности, действует один и тот же не учитываемый при построении кривой фотоактивный поток  $\delta$ , обусловленный наличием доэкспонирования светом иной спектральной зоны, чем при ступенчатом освещении. Очевидно, что чем больше  $\delta$ , тем меньше наблюдаемый коэффициент контрастности и тем больше наблюдается отклонение от истинной. Величину  $\delta$  можно определить следующим образом. Очевидно, что для точек обеих кривых рис. 10, отвечающих равным концентрациям красителя, справедливо соотношение:

$$\lg A_2 = \lg(A_1 + \delta)$$

или:

$$A_2 \tau_2 = A_1 \tau_1 + \delta \tau_2$$

где  $A_1$  — фотоактивный поток под первой ступенью клина,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  — коэффициенты пропускания соответствующих слоев клина. Следовательно:

$$\delta = A_1 \left( \frac{\tau_2}{\tau_1} - 1 \right) = A_1 \tau_2 \left( 1 - \frac{\tau_1}{\tau_2} \right)$$

а так как:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \text{antilg } x$$

где  $x$  — наблюдаемое смещение характеристических кривых (рис. 10), то

$$\delta = A_0 \tau_2 \left( 1 - \frac{1}{\text{antilg } x} \right)$$

Так как постоянная клина сенситометра равна 0,15, то

$$\tau_2 = 2^{\frac{1-n_2}{2}}$$

где  $n_2$  — номер ступени клина, и окончательно

$$\delta = 2^{\frac{1-n_2}{2}} A_0 \left( 1 - \frac{1}{\text{antilg } x} \right)$$

Расчитанные по этому уравнению значения  $\delta$  (при  $A_0 = 1$ ) для трех исследованных цветофотографических материалов, ступенчато экспонированных красным светом и равномерно экспонированных зеленым светом, для разных значений  $n_2$  приведены в табл. 1.

Для суждения о постоянстве величины  $\delta$  необходимо знать ошибку  $d\delta$  в определении этой последней. Ошибка вычислялась по формуле:

$$d\delta = \pm 2,3 \cdot 2^{\frac{1-n_2}{2}} \cdot 10^{-x} dx,$$

полагая точность определения величины  $x$  равной 0,01.

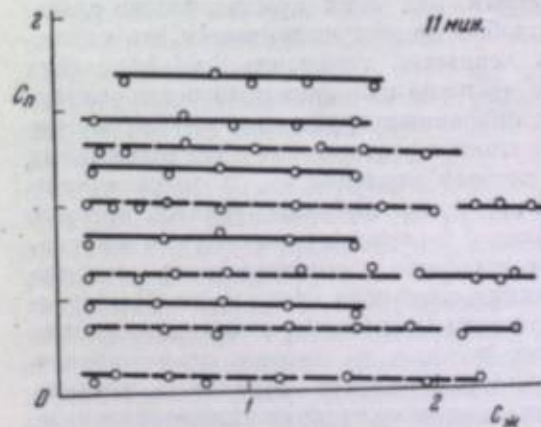


Рис. 9. Влияние образования красителя в верхнем слое на количество красителя, образующегося в среднем слое при различных постоянных экспозициях (два опыта).

Так как величина  $\delta$  для каждого из материалов действительно остается постоянной, то этим доказывается преимущественная роль доэкспони-

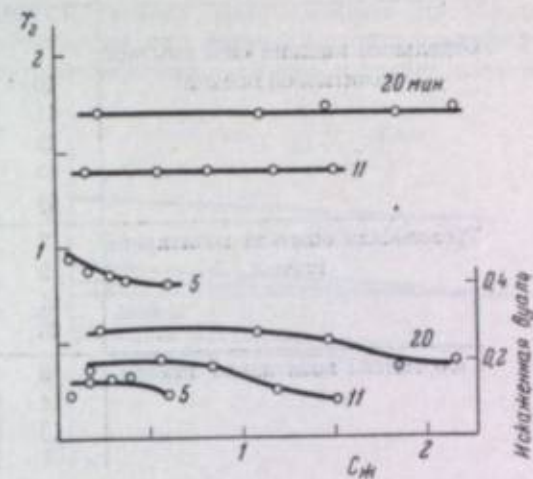


Рис. 8. То же, что на рис. 7, для нижнего слоя в зависимости от количества красителя в верхнем слое.

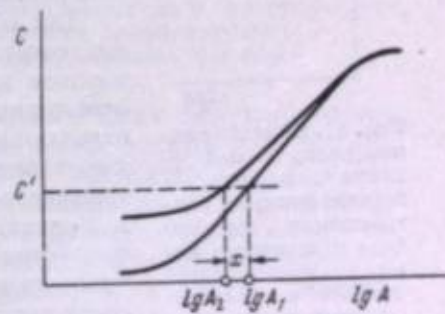


Рис. 10. Схема для анализа явления доэкспонирования.



Таблица 1

Материал	$\eta$	$\alpha$	$\beta$	$\sigma$
Многослойный материал с равномерным освещением поверхностной пленки	9	0,04	0,0055	0,0013
	10	0,08	0,0058	0,0009
	11	0,09	0,0059	0,0006
	12	0,13	0,0057	0,0004
	13	0,20	0,0058	0,0002
Трехслойный материал с равномерным освещением слоев	7	0,04	0,0011	0,0023
	9	0,08	0,0010	0,0012
	11	0,17	0,0010	0,0003
	13	0,27	0,0009	0,0002
Многослойный материал с равномерным освещением слоев	10	0,04	0,0055	0,0013
	11	0,09	0,0055	0,0006
	13	0,20	0,0055	0,0002

рис. 11. Влияние равномерного освещения слоев на коэффициент контрастности пленки многослойного материала в случае единичной и трехслойной пленки.

рис. 12. Пример сочетания явления взаимного влияния элементарных слоев при проявлении и явления доэкспонирования.

рис. 13. Влияние равномерного освещения слоев на коэффициент контрастности пленки многослойного материала в случае единичной и трехслойной пленки.



рис. 11. Влияние равномерного освещения слоев на коэффициент контрастности пленки многослойного материала в случае единичной и трехслойной пленки.

1 — равномерное освещение; 2 — неравномерное освещение.

Сначала деформации характеристических кривых происходит за счет подтяжки кривой по преимуществу в начальном участке кривой (включая доэкспонирования), при наибольшем же равномерном освещении (наибольшем  $\beta$ ).

кроме того, понижается конечный участок характеристической кривой, что объясняется, очевидно, уже не доэкспонированием, а взаимным влиянием слоев при проявлении.

## 5. ВЫВОДЫ

Исследование сенситометрических свойств многослойных цветофотографических материалов при действии на них света сложного спектрального состава показало, что сенситометрические свойства каждого элементарного слоя зависят от того, в какой мере экспонированы остальные элементарные слои. При этом происходит два явления. Причиной первого из них является местное истощение проявителя в проявляемом многослойном материале: на участке, подвергшемся действию света, в процессе проявления накапливаются продукты реакции проявления (снижаются рН и рВг), что обусловлено сравнительной медленностью диффузионных процессов между желатиновым слоем и проявляющим раствором. Такое истощение тем больше, чем сильнее экспонирован материал. Оно приводит к взаимному влиянию элементарных слоев многослойного материала в процессе проявления, выражающемуся в уменьшении количества образующихся во всех слоях красителей по сравнению с тем, что было бы, если бы на подложке находился лишь один элементарный слой. Это явление тем относительно больше, чем больше различие в фотоактивных потоках, действующих на разные слои материала.

При условии равномерного освещения остальных слоев оно заключается преимущественно в депрессии (смещении вниз вдоль оси ординат) характеристической кривой, а в случае нижнего элементарного слоя — в уменьшении наклона этой кривой. Чем больше время проявления, тем это явление слабее выражено. Второе явление обусловлено частичным наложением спектральных областей светочувствительности элементарных слоев многослойных материалов, а в случае негативных материалов — также и недостаточной оптической плотностью промежуточного фильтрового слоя. Оно заключается в дополнительном экспонировании одного из элементарных слоев светом, предназначенным для экспонирования какого-либо из двух других слоев и номинально на него не действующим. В результате доэкспонирования возрастает количество образующегося в исследуемом слое красителя, которое тем больше, чем сильнее были экспонированы другие слои. При условии

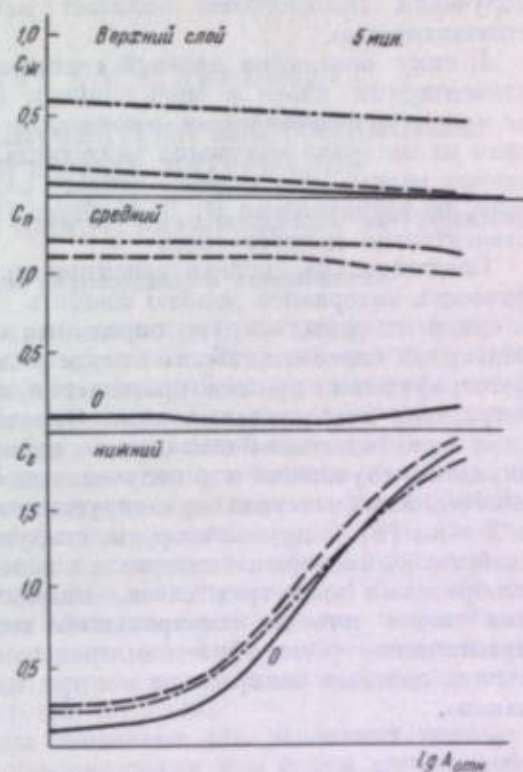


рис. 12. Пример сочетания явления взаимного влияния элементарных слоев при проявлении и явления доэкспонирования.  $\circ$  — доэкспонирование отсутствует.



равномерного освещения этих последних наклон характеристической кривой исследуемого слоя уменьшается вследствие преимущественного возрастания концентраций красителя в начальном участке кривой.

На практике оба явления в той или иной степени переплетаются, что, в частности, вызывает такие своеобразные эффекты, как непостоянство выражаемой в концентрациях красителя вуали неэкспонированного элементарного слоя или появление минимума в начальном участке характеристической кривой того из элементарных слоев, который в условиях получения сенситограмм обладает наименьшей эффективной светочувствительностью.

В силу описанных явлений сенситометрические свойства каждого из элементарных слоев в многослойном цветофотографическом материале не являются однозначными, а зависят от спектрального состава действующего на материал излучения даже тогда, когда этим излучением соответствуют равные относительно данного слоя фотоактиничные потоки, т. е., если, по терминологии Н. Д. Ньюберга [12], эти излучения изоактиничны относительно данного слоя.

Следовательно, полное сенситометрическое испытание цветофотографических материалов должно состоять по меньшей мере из двух частей. С одной стороны, следует определять сенситометрические свойства элементарных слоев в наиболее чистом виде, т. е. в таких условиях, когда фотографический процесс протекает в исследуемом слое, предельно мало затрагивая два остальных слоя. Определенные таким образом свойства слоя непосредственно связаны со свойствами исходной фотографической эмульсии, служившей для получения данного слоя. При таком испытании многослойный материал экспонируется светом достаточно узкой спектральной зоны [8]. С другой стороны, следует определять сенситометрические свойства многослойного материала в целом, т. е. при участии в построении изображения всех трех слоев. Наиболее общим случаем экспонирования светом того же спектрального состава, что и применяемый при практическом фотографическом процессе, является экспонирование белым светом, действие которого на все три слоя в первом приближении одинаково.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. К. Костинский. Изв. Гл. Пулк. observ., 1906—7, 1, № 11; 2, № 14.
2. G. Eberhard. Pphys. ZS, 1912, 13, 288 и Phot. Korr., 1922, 59, 15.
3. W. Scheffer. Brit. Journ. Photogr., 1907, 54, 116.
4. Н. Н. Ваденков. ZS. wiss. Photogr., 1930, 27, 236.
5. И. И. Брейдо. Успехи научной фотографии, т. 1, изд. АН СССР, 1951, стр. 118.
6. С. Г. Богданов и Н. В. Полякова. ЖПХ, 1950, 23, 702—716.
7. В. И. Шеберстов. Химия проявителей и проявления, изд. 2-е, 1941, стр. 274.
8. Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и О. М. Пономаренко. Настоящий сборник, стр. 105.
9. ГОСТ 2817-50.
10. К. Л. Мерц. Цветная фотография. Госкиноиздат, 1949.
11. Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг. Настоящий сборник, стр. 85.
12. Н. Д. Ньюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Советская наука», 1948.

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ и Т. М. ЛЕВЕНБЕРГ

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СЕНСИТОМЕТРИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

### IV. РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

#### 1. Методика измерения разрешающей способности

Разрешающая способность измерялась на проекционном резольвомере ГОИ [1,2]. Поскольку микрофотографический объектив резольвометра не полностью хроматически исправлен, а каждый из элементарных слоев многослойной пленки обладает эффективной светочувствительностью в сравнительно узкой области спектра и очень малой толщиной (5—6  $\mu$ ), — для определения разрешающей способности приходилось получать по несколько резольвограмм, соответствующих различным фокусировкам, т. е. различным положениям объектива резольвометра относительно испытуемого материала, а именно последовательно отличающихся друг от друга на 1,5  $\mu$ . Каждая резольвограмма, в соответствии с ГОСТ 2819-45, содержала ряд изображений миры абсолютного контраста, полученных при различных экспозициях. Разрешающую способность  $R$  определяли по фотографическому изображению миры с наибольшей в пределах всех резольвограмм разрешаемой частотой штрихов.

Такого рода определения были проведены для различных цветофотографических материалов при экспонировании как белым светом, действующим на все три слоя, так и синим, зеленым и красным светом, действующим соответственно только на верхний, средний или нижний слой. Кроме того, были исследованы специально приготовленные однослойные образцы, содержащие только какой-либо один из элементарных слоев, и соответствующие им трехслойные образцы.

Такая серия опытов позволила установить величину разрешающей способности изолированных элементарных слоев, элементарных слоев в многослойном материале и всего многослойного материала в целом и тем самым судить о влиянии рассеяния света вышележащими слоями на формирование фотографического изображения в нижележащих слоях.

Резольвограммы проявлялись в проявителях и при временах проявления, принятых в фотографической практике, и рассматривались при 30-кратном увеличении. Каждый опыт производился дважды, и приводимые ниже результаты представляют собой средние значения из двух опытов.

#### 2. Результаты определения разрешающей способности

Результаты опытов по измерению разрешающей способности представлены в табл. 1. Следует иметь в виду, что между первым и вторым



опытами, с одной стороны, и третьим опытом — с другой стороны, имеется принципиальное различие. В первых двух опытах сравниваются свойства трехслойного материала в целом со свойствами отдельных политых элементарных слоев того же материала, в третьем же опыте сравниваются свойства многослойного материала в целом со свойствами элементарных слоев в самом же многослойном материале, «фотографически разделенных» друг от друга экспонированием на разных выдерживаниях светофильтрами [3].

Из таблицы видно, что разрешающая способность каждого элементарного эмульсионного слоя в сильнейшей степени зависит от того, находится ли над этим слоем еще другие эмульсионные слои или нет. Отдельные элементарные слои (опыты 1 и 2) имеют разрешающую способность, значительно большую, чем аналогичные слои в трехслойной пленке (опыт 3). Это различие тем больше, чем выше лежит слой в пленке. Разрешающая способность трехслойной пленки в целом значительно меньше разрешающей способности любого из составляющих ее элементарных слоев в изолированном состоянии. Она представляет собой приблизительно среднее из трех значений разрешающей способности для элементарных слоев при экспонировании их в трехслойной пленке, иногда несколько, она ближе всего к значению разрешающей способности среднего слоя (см. опыт 3).

При экспонировании нижнего слоя со стороны подложки его разрешающая способность возрастает в 3,5 раза по сравнению с его же разрешающей способностью при нормальном экспонировании, т. е. через два вышерележащих слоя (опыт 3).

Поскольку разрешающая способность фотографического слоя есть фотографическая мера светорассеяния в этом слое, все указанные закономерности свидетельствуют о том, что свет, действующий на данный элементарный слой многослойного материала, претерпевает значительное рассеяние в вышерележащих слоях, в то же время весьма мало в них поглощается<sup>1</sup>.

Самостоятельным большим элементом светорассеяния в соседних слоях не выступают тонкие детали данного элементарного слоя, является также тот факт, что кривая зависимости разрешаемой частоты от частоты падающего излучения имеет весьма резко выраженный максимум в случае изолированных элементарных слоев и что та же кривая гораздо более плоская для тех же слоев в многослойном материале (при экспонировании светом узкой спектральной зоны) и еще более пологая при экспонировании всего многослойного материала белым светом.

Из всего сказанного выше нужно сделать заключение, что разрешающая способность и негативных и позитивных цветофотографических материалов зависит от спектрального состава действующего на них света. Чем ниже слой, в котором формируется цветное фотографическое изображение, тем ниже разрешающая способность. Распределение же цветного изображения по глубине многослойного материала в свою очередь определяется цветовым характером фотографируемых деталей, т. е. соотношением цветов каждой двух соприкасающихся элементов объекта фотографирования. Так, на черном фоне фиолетовые элементы будут в геометрическом отношении воспроизведены лучше всего, а красные элементы — хуже всего. Наоборот, на белом фоне лучше всего будут воспроизведены желтые элементы, а хуже всего — голубые. На зеленом фоне наилучшее воспроизведение будет для голубых элементов и наихудшее — для желтых элементов и т. д.

<sup>1</sup> Поскольку следует из того, что верхний чувствительный слой не чувствителен ни к красным, ни к зеленым, ни к синим лучам, действующим на оба нижних слоя, а средний слой не чувствителен к красным лучам, действующим на нижний слой.

Таблица 1

Опыт	Материал	Исследуемый образец	Условия экспонирования	R (мм <sup>-1</sup> )
1	Негативная форматная пленка для дневного света, опытная	Трехслойная пленка в целом	Белый свет	35
		Отдельный верхний слой	» »	80
		Отдельный средний слой	Белый свет, акранированный фильтровым слоем*	105
		Отдельный нижний слой	» »	110
2	Позитивная форматная пленка, опытная	Трехслойная пленка в целом	Белый свет	60
		Отдельный верхний слой	» »	80
		Отдельный средний слой	Белый свет, акранированный фильтровым слоем	120
		Отдельный нижний слой	» »	120
3	Кинопозитивная пленка	Трехслойная пленка в целом	Белый свет	42
		Верхний слой в трехслойной пленке	Синий »	55
		Средний слой в трехслойной пленке	Зеленый »	35
		Нижний слой в трехслойной пленке	Красный »	30
		То же	Красный свет со стороны подложки	100
4	Кинонегативная пленка для искусственного света	Трехслойная пленка в целом	Белый свет	50

\* При экспонировании однослойных образцов среднего и нижнего элементарных слоев для предотвращения образования фотографического изображения за счет области собственной светочувствительности эмульсии в пучок револьвером вводили отдельно политый фильтровой слой. Поскольку в реальном многослойном материале коротковолновые лучи поглощаются не только самим фильтровым слоем, но и верхним элементарным слоем, мы имитировали в этих опытах реальные условия поглощения путем удвоения толщины фильтрового слоя.

### 3. ВЫВОДЫ

Разрешающая способность многослойных цветофотографических материалов значительно ниже, чем аналогичных черно-белых материалов. Поскольку в то же время разрешающая способность изолированных элементарных слоев значительно выше, чем многослойного материала в целом, оказывается, что на разрешающую способность цветофотографического материала влияет не только фотографически активное светорассеяние, но и фотографически неактивное светорассеяние в каждом данном элементарном слое. Поэтому разрешающая способность нижних элементарных слоев используется тем в большей степени, чем относительно выше разрешающая способность верхних слоев. Степень геометрической правильности воспроизведения малых участков изображения зависит от соотношения цветов этих участков и соприкасающихся с ними участков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Л. Бурмистров. ЖТФ, 1939, 6, 1731.
2. ГОСТ 2819-45.
3. Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и О. М. Пономаренко. Настоящий сборник, стр. 105.



на позитиве количество каждой из трех красок в отдельности было равно субтрактивным координатам соответствующего цвета снимаемого объекта.

При анализе общей картины цветопередачи и цветовых искажений мы больше, чем где-либо, вправе пользоваться приближенными закономерностями, тем более мы можем принять, что излучения, одинаковые по цвету, одинаково фотографируются (2), и, в частности, считать, что цвет любого фотографируемого объекта с субтрактивными координатами  $u, v, w$  будет воспроизводиться так же, как воспроизводилась бы эквивалентная ему по цвету смесь трех позитивных красок, взятых в поверхностных концентрациях  $u, v, w$ . Мы можем также в данном случае смело принять, что связь между количествами трех красок, т. е. субтрактивными координатами фотографируемого объекта, и логарифмами соответствующих активностей для трех слоев будет линейной:

$$\left. \begin{aligned} -\lg a_1 &= \delta_{11}u + \delta_{12}v + \delta_{13}w = D_{\text{ф}}^1 \\ -\lg a_2 &= \delta_{21}u + \delta_{22}v + \delta_{23}w = D_{\text{ф}}^2 \\ -\lg a_3 &= \delta_{31}u + \delta_{32}v + \delta_{33}w = D_{\text{ф}}^3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\delta_{ij}$  — удельные эффективные плотности позитивных красителей в отношении трех негативных слоев, а  $D_{\text{ф}}^1, D_{\text{ф}}^2, D_{\text{ф}}^3$  — соответствующие эффективные плотности объекта.

В смысле цветопередачи многослойный негативно-позитивный процесс несколько осложняется тем, что в нем процесс цветного фотографирования повторяется дважды: при съемке и при печати с цветного негатива.

Для большей ясности картины мы сначала разберем случай получения цветного изображения с трех цветоделенных негативов без добавочной цветной пересъемки, т. е. так, как это имеет место при съемке цветных объектов на три различные пленки (например, в камерах с расщепляющей системой) или при получении изображения на пленке с обращением. В этом случае количество каждого из трех красителей на позитиве определяется плотностями только одного из трех цветоделенных негативов. Впоследствии мы покажем, что характер цветовых искажений в случае цветного позитивно-негативного процесса или цветного контрастирования остается тем же, что и в простейшем случае, причем, однако, те же самые искажения усиливаются при каждой новой цветной пересъемке.

Среди различных цветов объекта съемки всегда найдется много таких, которые требуют для своего точного воспроизведения одинакового количества одной из красок при различных количествах двух других, т. е. цветов, для которых равны значения одной из трех субтрактивных координат, а значения двух других различны. Такие цвета мы называем «изохромными» по соответствующей краске. (Подробнее об этом см. [2].) Очевидно, необходимое (хотя и недостаточное) условие правильности цветопередачи состоит в том, чтобы изохромные цвета и на п о з и т и в е воспроизводились одинаковыми количествами соответствующей краски, а это требует, чтобы при фотографировании изохромные цвета давали одинаковые плотности на соответствующем негативе. Это позволяет сформулировать следующее условие цветоделения.

**У с л о в и е ц в е т о д е л е н и я:** все цвета, требующие для своего воспроизведения одинаковых количеств какой-либо краски (изохромные по ней), должны при фотографировании оказывать одинаковое фотографическое действие на слой, выделяющий соответствующую краску, должны быть «изоактивными» в отношении соответствующего слоя.











соответствующей краске в основном негативе, то вредный контраст может быть превращен в некоторую постоянную плотность на всем изображении, не дающую цветоделительных искажений. При надлежащей организации процесса можно одновременно уничтожить или значительно уменьшить оба вредных контраста.

Дело несколько осложняется тем, что служащий для маскирования позитив сам не является идеальным. Правда, именно это позволяет одной маской устранить оба вредных контраста, однако приводит, с другой стороны, к некоторому снижению полезного контраста. Поэтому при маскировании обычно приходится несколько увеличивать коэффициент контрастности неисправленного негатива. Это совершенно побочное и в принципе необязательное мероприятие, связанное с неидеальностью самой маски, некоторые исследователи за рубежом, в частности Берендт, приняты за самое существо исправляющего действия маски (исправление «потери цветами насыщенности» за счет поднятия контраста). От этой ошибки следует решительно предостеречь, так как она часто приводит к неправильным рекомендациям при проведении маскирования.

К сожалению, метод масок связан с рядом технических трудностей, особенно в применении к многослойным процессам; все же использование этого метода стоит сейчас на очереди и с ним связаны значительные надежды на улучшение цветопередачи.

На градационных искажениях мы остановимся более кратко не потому, что они менее важны, а по той причине, что они более известны, особенно те, которые связаны с нарушениями баланса экспозиций и баланса контрастов. Однако некоторые искажения чисто градационного происхождения менее известны, и на них мы преимущественно и обратим внимание. Об искажениях же, связанных с нарушениями баланса, мы говорить не будем, хотя на практике с ними приходится встречаться особенно часто.

Нередко в явной или неявной форме приходится встречаться с представлением, что при правильном балансе (совпадение всех трех характеристических кривых) непрямолинейная форма характеристических кривых должна давать только чисто яркостные искажения, подобные, например, потерям деталей в тенях черно-белого изображения в области недодержек. Такое представление ошибочно. Непрямолинейность характеристических кривых даже при идеальном балансе, хотя и вызывает на серой шкале только искажения интервалов по яркости, на цветных объектах может давать крайне неприятные изменения цвета в тенях. Это объясняется тем, что эффективная плотность того же самого по серого цвета в отношении отдельных слоев различна. В особенности это имеет место для цветов насыщенных. Так, например, если мы имеем желтый предмет с тенями на нем, то для синечувствительного слоя эти цвета займут интервал в области больших эффективных плотностей (например, в области недодержки), для зеленочувствительного слоя эффективные плотности будут меньше, а для красочувствительного — наименьшими. Если характеристические кривые не прямолинейны, то коэффициент контрастности для желтого с его тенями будет различен в разных слоях и на желтом получится тот результат, который наблюдается при нарушении баланса контрастов на серой шкале. Количество голубой краски будет возрастать в тенях на желтом предмете быстрее, чем других красок, и тени приобретут неправильную окраску. На различных цветных объектах такие неправильные изменения цвета в тенях, вообще говоря, направлены в разные стороны, но на практике общая картина цветовых искажений этого рода всегда осложнена цветоделительными искажениями и особенно тем, что в области недодержек, да и вообще при непрямолинейных

...иногда наблюдается... (The text is extremely faint and difficult to read, appearing as bleed-through from the reverse side of the page.)

...иногда наблюдается... (The text is extremely faint and difficult to read, appearing as bleed-through from the reverse side of the page.)

...иногда наблюдается... (The text is extremely faint and difficult to read, appearing as bleed-through from the reverse side of the page.)

...иногда наблюдается... (The text is extremely faint and difficult to read, appearing as bleed-through from the reverse side of the page.)



характеристиках, несомненно, крайне редки случаи одинакового искривления всех кривых. В таком случае в отдельных частях, даже на серой шкале, наблюдаются нарушения баланса, так что разобранный случай в чистом виде едва ли можно наблюдать без осложнения другими искажениями. Однако неправильности в окраске теней на недодержанных негативах — явление обычное, и оно тесно связано с использованием области, в которой прямолинейность характеристических кривых нарушается.

Из всего сказанного следует вывод, что нарушения прямолинейности характеристических кривых для цветных процессов значительно вреднее, чем для черно-белых. Если в последних они вызывают только уменьшение различий в яркости теневых частей изображения, то для цветных они ведут к неестественной окраске теней, притом не только в наиболее темных участках изображения, но и на насыщенных цветах, не лежащих в области глубоких теней.

Поэтому криволинейный участок характеристической кривой следует использовать с большой осторожностью, а следовательно, экспозиционный режим в цветных процессах должен быть более точным, чем в черно-белых. То же самое можно сказать и о допустимой широте объектов съемки.

Рассмотрим еще другой пример градационных искажений. Допустим, что объект съемки представляет собой ряд цветов, полученных наложением ступенчатого клина из пурпурного красителя на некоторую равномерную плотность желтого. Полученная цветная шкала будет содержать ряд переходных цветов от красного (желтый + пурпурный), через оранжевые, до желтого. Если характеристическая кривая пурпурного слоя криволинейна, то это скажется на том, что равномерное нарастание плотности пурпурного нарушится; одни ступени увеличатся, другие уменьшатся. В результате исходная красно-оранжевая шкала искажится, причем тем или иным промежуточные оттенки сдвинутся к концам и тем самым как бы пропадут. То же самое можно наблюдать, очевидно, и на других цветах.

Этот случай представляет большой практический интерес, так как на цветных изображениях мы часто можем чувствовать вызванные этими причинами «огрубения» цветов природы вследствие пропадающих тонких нюансов цвета. Эта опасность тем более велика, что предметы насыщенной окраски являются всегда для того или иного из слоев как бы черными (большая эффективная плотность) и могут попадать в отдельных слоях в область недодержек, даже когда они, казалось бы, освещены не так плохо.

Интересный пример искажений, повидимому этого типа, был замечен, но неправильно понят немецкими специалистами, когда они подбирали подходящие сенсibilизаторы для негативной многослойной пленки. Как известно, сенсibilизаторы негативной пленки — менее селективные, «перекрывающиеся». К этому пришли чисто эмпирически путем проб, причем оказалось, что когда для негативной пленки применили более селективную сенсibilизацию, то на изображении стали «пропадать» промежуточные оттенки. Это было объяснено тем, что при узких зонах сенсibilизации области сенсibilизации не захватывают в сумме весь спектр, а потому промежуточные цвета и «пропадают». Эти соображения еще имели бы смысл, если бы на цветной пленке фотографировались спектры, но тогда пропадающие оттенки получались бы черными. Для излучений же, отражаемых обычными объектами съемки, никаких пропаданий промежуточных оттенков из-за неполного смыкания трех областей сенсibilизации, конечно, произойти никак не могло, так как кривые отражения обычных объектов съемки очень не селективны. Вероятнее, что применение

более селективных сенсibilизаторов понизило общую чувствительность пленки, в силу чего насыщенные цвета стали попадать частично в область недодержки, что и вызвало описанное «пропадание промежуточных цветов». В данном случае, несмотря на ошибку в объяснении, было принято правильное решение. Хотя более узкие зоны сенсibilизации несколько улучшают цветоделение, но эти улучшения невелики, и, конечно, снижение общей чувствительности, вынуждающее к более широкому использованию области недодержки, вызывает значительно более сильные цветовые (градационные) искажения. Отсюда следует вывод, что поднятие чувствительности цветной негативной пленки и увеличение шириты прямолинейного участка являются весьма важными средствами улучшения цветопередачи.

Градационные искажения указанных типов, несомненно, играют очень большую, а иногда и решающую роль в искажении зеленых цветов, а точнее в неестественной передаче цвета зеленой растительности. Из всех естественных объектов более или менее постоянной окраски важнейшими являются листва, небо и зелень. Но для листвы и неба вариации оттенков в пределах объекта сравнительно невелики. В частности, обычно отсутствуют глубокие тени. Наоборот, зелень для своей естественной передачи требует воспроизведения значительного числа различных оттенков зеленого, а кроме того, в силу ее дробной структуры в зелени всегда имеются участки довольно темные, могущие попадать, особенно для верхнего и нижнего слоев, за пределы прямолинейного участка характеристической кривой. Поэтому именно на зелени особенно заметны градационные искажения, связанные с ограниченностью строго прямолинейного участка характеристик.

Так, при несколько недодержанных негативах на зелени появляется неправильная окраска в тенях. С другой стороны, описанный эффект пропадающих промежуточных оттенков приводит к тому, что вместо богатого разнообразия оттенков более желтоватого или более синеватого зеленого цвета, свойственного живой зелени, тот или другой из оттенков зеленого оказывается преобладающим за счет других близких. Повидимому, это является основной причиной того, что полученное изображение зелени иногда кажется не естественным, а как бы раскрашенным, потому что именно при грубой раскраске фотографии какой-либо зеленой краской цвет этой краски оказывается преобладающим при отсутствии оттенков, отклоняющихся от цвета этой краски.

Важная роль градационных искажений в передаче зелени подтверждается тем, что часто в одних случаях передача зелени в фильме оказывается довольно хорошей, а в других совершенно неудовлетворительной. Вариации цветоделительных характеристик пленки сравнительно невелики и ими, несомненно, такая разница в передаче зелени объяснена быть не может. Повидимому, она не может быть отнесена полностью к различиям в градационных характеристиках самой пленки, так как примеры весьма различной по качеству передачи зелени можно наблюдать и при съемке на той же пленке.

Роль пленки здесь, несомненно, состоит в том, что ширина прямолинейных участков ее характеристик невелика, но различие в качестве воспроизведения зелени в основном определяется условиями съемки (экспозиция, освещение), которые следует подбирать очень тщательно. При этом опыт черно-белой съемки может быть использован только частично, так как, во-первых, даже относительно светлые визуальные участки объекта могут попадать на криволинейную часть характеристики отдельного слоя, а во-вторых, потому, что нарушения прямолинейности, мало



заметные на черном изображении, могут, как было указано, вызывать весьма заметные нарушения цветопередачи при цветных процессах.

В заключение следует сказать несколько слов о применении четвертого черного изображения, в частности при оставлении серебра в многослойном позитиве. Если не применяются искусственные приемы удаления черного изображения с определенных участков, то черное изображение всегда заметно увеличивает цветоделительные искажения. Однако если черное изображение имеет сравнительно небольшую плотность, оно может играть положительную роль в градационном отношении, несколько увеличивая широту изображения.

В случае дефектного цветного изображения, например вялого, прибавлением черного можно превратить совершенно негодное изображение в более или менее удовлетворительное. Точно так же, если вследствие недодержки или плохо сбалансированной пленки получаются неправильно окрашенные тени, оставленное в слое серебра может иметь положительное значение. Хотя такие приемы представляют ценность для предприятия в качестве спасительного исхода, однако это нельзя рассматривать как метод улучшения качества цветного изображения.

Цветоделительные искажения увеличиваются введением черного, так как это в принципе эквивалентно применению загрязненных красок. При загрязненных красках соответственно увеличиваются вредные контрасты (паразитные плотности), о которых уже говорилось, следствием чего должно было бы быть общее увеличение всех цветоделительных искажений. Однако в таких случаях нередко завышают общий контраст. Искажения по недостатку краски частично компенсируются возросшим контрастом; более всего сказываются искажения по избытку красок в виде загрязнения цветов и особенно непомерно возрастает контраст для тех цветов (например, зеленых), для которых и без того цветоделительные искажения дают увеличение контраста.

Если плотность черного изображения не велика или оно тем или иным способом удалено с тех частей изображения, где оно может вредить, черное изображение может принести большую пользу. К сожалению, при простом оставлении серебра в многослойном позитиве эти условия выполнить не удастся, за исключением тех случаев, когда количество оставляемого серебра будет очень не велико.

Все изложенное выше дает только беглый обзор наблюдаемых цветовых искажений и возможных их причин, но далеко не исчерпывает вопроса. Однако и на изложенном материале, нам кажется, можно видеть, что предложенная нами система цветной сенситометрии приспособлена для решения весьма разнообразных и актуальных цветофотографических задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Д. Ньюберг, Г. С. Баранов и Н. С. Овечкис. Настоящий сборник, стр. 72.
2. Н. Д. Ньюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Советская наука», 1948.

Н. С. ОВЕЧКИС

## ТРЕХЗОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ К ЦВЕТОФОТОГРАФИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

### 1. Общие положения трехзональной системы

Общезвестные колориметрические методы и законы, в том числе и международная система цветных измерений, позволяют определять результирующий цвет только в случае аддитивного синтеза цветов и не пригодны при субтрактивном синтезе. Определением спектральных характеристик этих составляющих можно получить спектральную характеристику результирующего цвета посредством перемножения коэффициентов пропускания или отражения или суммированием оптических плотностей при соответствующих длинах волн, причем спектральная характеристика результирующего цвета может быть пересчитана в координаты цвета международной системы. Однако такой метод расчета цветов субтрактивного синтеза весьма громоздок, требует много времени и внимания, а потому не пригоден в условиях практической работы.

Субтрактивные методы смешения цветов широко распространены в различных отраслях промышленности, в частности в цветной кинематографии и фотографии, но вопросы смешения цветов и цветовой контроль их из-за отсутствия количественных методов решаются эмпирически. Между тем трехзональная система координат дает возможность определять результирующий цвет субтрактивного синтеза с такой же быстротой, как при аддитивном синтезе одноцветных составляющих.

Эта система основана на схематизации кривых светопоглощения с приведением их к «оптимальному» типу. Основные цвета трехзональной системы определяются белым светом, пропущенным через три оптимальных светофильтра, разделяющих видимый участок спектра на три части — красную, зеленую и синюю. Выбор зон производится таким образом, чтобы длины волн одной и той же спектральной зоны были близки по цвету. Сложный свет, действующий на глаз, всегда представляет смесь трех потоков света соответствующих трех зон. Белый свет можно считать полученным из одинаковых количеств цветов трех спектральных зон.

Если пренебречь различием в цвете в пределах каждой спектральной зоны, то цвет любого объекта будет определяться соотношением количеств красного, зеленого и синего светов, которые отражаются или пропускаются этим предметом. Количества красного, зеленого и синего близки по значениям к средним коэффициентам отражения или пропускания в пределах каждой из трех спектральных зон.

Спектральные зоны были выбраны следующим образом: синяя зона — от 400 до 480 м $\mu$ , зеленая зона — от 480 до 560 м $\mu$ , красная



зона — от 560 до 700 нм. Трехзональная система координат, естественно, связана с международной системой линейным преобразованием.

Обозначив координаты цвета международной системой через  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ , а зональные коэффициенты пропускания — через  $T_c$ ,  $T_s$  и  $T_n$ , легко перевести одну систему в другую:

$$X' = T_c X'_c + T_s X'_s + T_n X'_n$$

$$Y' = T_c Y'_c + T_s Y'_s + T_n Y'_n$$

$$Z' = T_c Z'_c + T_s Z'_s + T_n Z'_n$$

где

$$X'_c = \int_{400}^{490} E(\lambda) \bar{X}(\lambda) d\lambda,$$

$$Y'_c = \int_{400}^{490} E(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda,$$

$$Z'_c = \int_{400}^{490} E(\lambda) \bar{Z}(\lambda) d\lambda,$$

$$X'_s = \int_{490}^{560} E(\lambda) \bar{X}(\lambda) d\lambda,$$

$$Y'_s = \int_{490}^{560} E(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda,$$

$$Z'_s = \int_{490}^{560} E(\lambda) \bar{Z}(\lambda) d\lambda,$$

$$X'_n = \int_{560}^{700} E(\lambda) \bar{X}(\lambda) d\lambda,$$

$$Y'_n = \int_{560}^{700} E(\lambda) \bar{Y}(\lambda) d\lambda,$$

$$Z'_n = \int_{560}^{700} E(\lambda) \bar{Z}(\lambda) d\lambda,$$

где

$E(\lambda)$  — распределение энергии в спектре источника света;  $\bar{X}(\lambda)$ ,  $\bar{Y}(\lambda)$ ,  $\bar{Z}(\lambda)$  — ординаты кривых сложения, принятые международной системой цветовых измерений. Коэффициенты перехода от международной системы к зональной определяются решением данной системы уравнений.

Таким образом,

$$T_c = a_1 X' + b_1 Y' + c_1 Z',$$

$$T_s = a_2 X' + b_2 Y' + c_2 Z',$$

$$T_n = a_3 X' + b_3 Y' + c_3 Z'.$$

Новые составляющие любого цвета приобретают значение коэффициентов пропускания трех оптимальных светофильтров, выбранных для осуществления новой цветовой системы, а девять параметров линейного преобразования представляют компоненты трех цветов, получаемых при прохождении белого света через три основных оптимальных светофильтра. Ввиду того, что составляющие в международной системе могут быть рассчитаны раз навсегда, этим определяется форма линейного преобразования.

Для расчета субтрактивных смесей кривые спектрального светопоглощения заменяются тремя соответственно подобранными отрезками прямых, параллельных оси длин волн. По существу, координаты цвета в международной системе пересчитываются по приведенным уравнениям в зональную цветовую систему. В этом случае результирующий цвет субтрактивной смеси получается из произведения зональных пропусканий или отражений одноцветных составляющих или из суммы оптических плотностей по зонам.

Допустим, что какой-нибудь цвет должен быть получен из каких-то количеств пурпурного, желтого и голубого красителей. Обозначим цвет, полученный пурпурным красителем, через зональные координаты пропускания  $T_c^n$ ,  $T_s^n$ ,  $T_n^n$ , а желтый и голубой цвета соответственно  $T_c^m$ ,  $T_s^m$ ,  $T_n^m$  и  $T_c^r$ ,  $T_s^r$ ,  $T_n^r$ .

Зональные коэффициенты пропускания результирующего цвета вычисляются следующим путем:

$$T_c = T_c^n T_c^m T_c^r$$

$$T_s = T_s^n T_s^m T_s^r$$

$$T_n = T_n^n T_n^m T_n^r$$

Любой цвет может быть выражен в зональных плотностях. Если обозначить через  $D_c$ ,  $D_s$ ,  $D_n$  оптические плотности в синей, зеленой и красной зонах, то зависимости между этими плотностями и зональными коэффициентами пропускания выразятся формулами:

$$D_c = -\lg T_c$$

$$D_s = -\lg T_s$$

$$D_n = -\lg T_n$$

Если одноцветные составляющие выражены в зональных плотностях  $D_c^n$ ,  $D_s^n$ ,  $D_n^n$ ;  $D_c^m$ ,  $D_s^m$ ,  $D_n^m$ ;  $D_c^r$ ,  $D_s^r$ ,  $D_n^r$ , то результирующий цвет при субтрактивном синтезе рассчитывают по следующим формулам:

$$D_c = D_c^n + D_c^m + D_c^r$$

$$D_s = D_s^n + D_s^m + D_s^r$$

$$D_n = D_n^n + D_n^m + D_n^r$$

Для характеристики цвета трехзональная система удобнее и более наглядна по сравнению с международной системой. По данным зональных



характеристик можно определить и представить себе любой цвет. Допустим, что какой-нибудь цвет имеет следующие зональные характеристики (рис. 1):

$$T_R = 0,15, \quad T_G = 0,80, \quad T_B = 0,75.$$

Для того чтобы определить по этим характеристикам, что представляет собой данный цвет, можно рассуждать следующим образом. Наименьшее пропускание будет в красной зоне, что приводит к пропусканию света во всех трех зонах в количестве 0,15, а сверх того зеленого света  $0,80 - 0,15 = 0,65$  и синего  $0,75 - 0,15 = 0,60$ . Одинаковое пропускание во всех трех зонах в количестве 0,15 показывает, что белый свет пропускается всеми

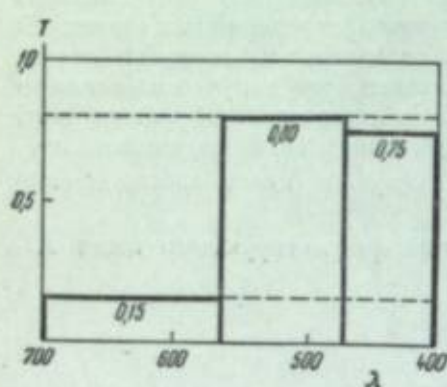


Рис. 1. Первый пример определения цвета по зональным характеристикам (голубой цвет).

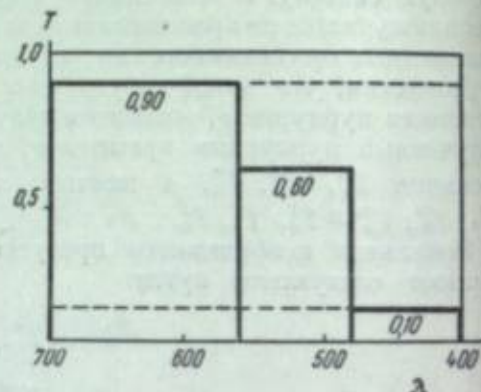


Рис. 2. Второй пример определения цвета по зональным характеристикам (оранжевый цвет).

зонами в данном количестве. Преобладание в зеленой зоне 0,65 и синей зоне 0,60 дает возможность судить, что результирующий цвет лежит между смешиваемыми цветами, т. е. что он голубой. Таким образом, данный цвет состоит из 0,15 белого и насыщенного голубого, полученного из 0,65 зеленого и 0,60 синего. Наличие белого понижает насыщенность цвета.

Относительная яркость или светлота данного цвета определяется обычно по отношению к яркости белого. В связи с этим более темные цвета воспринимаются как загрязненные, как будто к ним примешивается некоторое количество черного. В данном примере меньше всего поглощаются зеленые лучи:  $1,0 - 0,80 = 0,20$ . Общее поглощение света во всех зонах, равное 0,20, создает впечатление загрязненности цвета.

Приведем еще один пример (рис. 2) для определения цвета по зональным характеристикам. Предположим, что

$$T_R = 0,90, \quad T_G = 0,60, \quad T_B = 0,10.$$

Количество красных лучей значительно преобладает над зелеными, в результате чего получается оранжевый цвет. По остальным данным видно, что цвет насыщенный и светлый.

Практическая применимость зональной системы для субтрактивного синтеза цветов подтверждена большим экспериментальным исследованием и многочисленными расчетами для 260 реальных цветов. Экспери-

ментальная работа проводилась с различными триадами красителей. В качестве таких триад были приняты одноцветные составляющие, образованные красителями в негативной и позитивной цветной трехслойной пленке и в гидротипном методе получения цветных изображений. Для всех одноцветных составляющих — пурпурных, желтых и голубых — раздельно и в различных плотностях, а затем для парных и тройных смесей в различных соотношениях были получены спектральные характеристики, вычислены координаты цвета  $X', Y', Z'$  по международной системе и преобразованы в зональные характеристики.

Параллельно с непосредственным расчетом зональных характеристик для всех цветов производился аналогичный расчет результирующих цветов субтрактивного синтеза на основе зональных характеристик одноцветных составляющих.

Приводим часть полученного экспериментального материала в виде табл. 1—4, иллюстрирующих применимость зональной системы для определения субтрактивного синтеза цветов. Буквами п, ж и г обозначаются цвета — пурпурный, желтый и голубой. В столбце «Расчет по спектрам»

Таблица 1  
Негативная трехслойная пленка

№ по пор.	Цвет	Расчет по спектрам			Расчет по зонам		
		$D_C$	$D_G$	$D_B$	$D_C$	$D_G$	$D_B$
1	г	0,32	0,15	0,72	—	—	—
2	$\frac{1}{2}$ г	0,16	0,07	0,37	—	—	—
3	$\frac{1}{4}$ г	0,09	0,03	0,18	—	—	—
4	$\frac{1}{8}$ г	0,045	0,015	0,10	—	—	—
5	п	0,42	0,95	0,23	—	—	—
6	$\frac{1}{2}$ п	0,22	0,47	0,12	—	—	—
7	$\frac{1}{4}$ п	0,11	0,23	0,06	—	—	—
8	ж	0,88	0,08	0,005	—	—	—
9	$\frac{1}{2}$ ж	0,46	0,04	0,005	—	—	—
10	$\frac{1}{4}$ ж	0,22	0,02	0,005	—	—	—
11	п + ж	1,30	1,10	0,23	1,30	1,03	0,24
12	$\frac{1}{2}$ (п + ж)	0,64	0,50	0,12	0,68	0,51	0,13
13	$\frac{1}{4}$ (п + ж)	0,32	0,25	0,06	0,33	0,25	0,07
14	$2п + г$	1,15	1,85	1,25	1,16	2,05	1,18
15	$\frac{1}{2}$ ( $2п + г$ )	0,59	0,92	0,62	0,58	1,03	0,59
16	$\frac{1}{4}$ ( $2п + г$ )	0,30	0,47	0,32	0,29	0,52	0,30
17	$\frac{1}{8}$ ( $2п + г$ )	0,15	0,23	0,15	0,15	0,26	0,15
18	$2п + 2ж + г$	3,00	1,95	1,25	2,92	2,21	1,19
19	$\frac{1}{2}$ ( $2п + 2ж + г$ )	1,40	1,10	0,62	1,46	1,11	0,60
20	$\frac{1}{4}$ ( $2п + 2ж + г$ )	0,72	0,50	0,32	0,73	0,55	0,30
21	$\frac{1}{8}$ ( $2п + 2ж + г$ )	0,35	0,25	0,16	0,37	0,27	0,15
22	$\frac{1}{16}$ ( $2п + 2ж + г$ )	0,18	0,13	0,08	0,19	0,14	0,08

приведены зональные плотности, полученные непосредственным измерением и расчетом субтрактивной смеси, а в столбце «Расчет по зонам» — аналогичные характеристики, полученные на основе рассчитанных одноцветных составляющих.



Таблица 2

## Позитивная трехслойная пленка

№ по пор.	Цвет	Расчет по спектрам			Расчет по зонам		
		$D_c$	$D_a$	$D_k$	$D_c$	$D_a$	$D_k$
1	г	0,02	0,11	0,76	—	—	—
2	$\frac{1}{2}$ г	0,015	0,050	0,36	—	—	—
3	$\frac{1}{4}$ г	0,01	0,025	0,18	—	—	—
4	п	0,42	0,95	0,23	—	—	—
5	$\frac{1}{2}$ п	0,22	0,47	0,12	—	—	—
6	$\frac{1}{4}$ п	0,11	0,23	0,06	—	—	—
7	ж	0,80	0,14	0,04	—	—	—
8	$\frac{1}{2}$ ж	0,40	0,07	0,02	—	—	—
9	$\frac{1}{4}$ ж	0,20	0,035	0,01	—	—	—
10	п + ж	1,20	1,20	0,27	1,22	1,09	0,27
11	$\frac{1}{2}$ (п + ж)	0,62	0,53	0,14	0,61	0,55	0,14
12	$\frac{1}{4}$ (п + ж)	0,31	0,26	0,07	0,31	0,27	0,07
13	п + г	0,45	0,98	0,95	0,44	0,96	0,96
14	$\frac{1}{2}$ (п + г)	0,23	0,49	0,48	0,22	0,53	0,50
15	$\frac{1}{4}$ (п + г)	0,12	0,24	0,24	0,11	0,26	0,25
16	ж + г	0,80	0,25	0,74	0,82	0,25	0,80
17	$\frac{1}{2}$ (ж + г)	0,41	0,11	0,37	0,41	0,13	0,40
18	$\frac{1}{4}$ (ж + г)	0,21	0,06	0,19	0,22	0,07	0,20
19	п + ж + г	1,25	1,10	0,98	1,22	1,20	1,03
20	$\frac{1}{2}$ (п + ж + г)	0,62	0,54	0,49	0,61	0,60	0,52
21	$\frac{1}{4}$ (п + ж + г)	0,31	0,27	0,25	0,32	0,30	0,26
22	$\frac{1}{8}$ (п + ж + г)	0,16	0,14	0,12	0,16	0,15	0,13

Экспериментальные данные по различным триадам красителей показывают, что результаты зонального расчета субтрактивного синтеза цветов по характеристикам одноцветных составляющих близко совпадают с непосредственным измерением полученных цветов. Некоторые расхождения в больших плотностях объясняются неточностями при измерении этих цветов, что существенного значения не имеет, так как они фактически не участвуют в практике получения цветных изображений по любому субтрактивному методу, а к тому же еще относятся к зонам поглощения этих цветов.

Области практического приложения зональной системы трехцветных координат разработаны для решения ряда вопросов, связанных с техникой субтрактивных методов цветной кинематографии и фотографии. Реальное развитие зональной системы может быть расширено, однако, и для других областей науки, техники и промышленности, где имеется необходимость в определении результата при субтрактивном синтезе цветов.

Для определения зональных характеристик могут быть применены любые приборы, служащие для измерения цвета. К ним относятся все системы спектрофотометров, трехцветных колориметров и фотоэлектрических денситометров с трехцветными светофильтрами. В случае применения

Таблица 3

## Гидротипный метод

№ по пор.	Цвет	Расчет по спектрам			Расчет по зонам		
		$D_c$	$D_a$	$D_k$	$D_c$	$D_a$	$D_k$
1	г	0,24	0,39	1,45	—	—	—
2	$\frac{1}{2}$ г	0,12	0,19	0,66	—	—	—
3	$\frac{1}{4}$ г	0,06	0,09	0,34	—	—	—
4	п	0,50	0,83	0,18	—	—	—
5	$\frac{1}{2}$ п	0,25	0,41	0,09	—	—	—
6	$\frac{1}{4}$ п	0,13	0,20	0,05	—	—	—
7	ж	0,56	0,13	0,10	—	—	—
8	$\frac{1}{2}$ ж	0,28	0,06	0,05	—	—	—
9	$\frac{1}{4}$ ж	0,14	0,03	0,03	—	—	—
10	п + ж	1,05	1,00	0,29	1,06	1,03	0,28
11	$\frac{1}{2}$ (п + ж)	0,53	0,47	0,14	0,53	0,48	0,14
12	$\frac{1}{4}$ (п + ж)	0,27	0,23	0,07	0,27	0,24	0,07
13	п + г	0,74	1,15	1,45	0,74	1,22	1,63
14	$\frac{1}{2}$ (п + г)	0,37	0,57	0,74	0,37	0,61	0,72
15	$\frac{1}{4}$ (п + г)	0,19	0,29	0,37	0,19	0,30	0,36
16	ж + г	0,78	0,51	1,55	0,80	0,52	1,55
17	$\frac{1}{2}$ (ж + г)	0,40	0,25	0,72	0,40	0,26	0,71
18	$\frac{1}{4}$ (ж + г)	0,20	0,12	0,36	0,20	0,13	0,37

спектрофотометров по спектральной характеристике определяют зональные характеристики  $T_c$ ,  $T_a$ ,  $T_k$ :

$$T_c = \int_{400}^{700} T(\lambda) E(\lambda) C(\lambda) d\lambda,$$

$$T_a = \int_{400}^{700} T(\lambda) E(\lambda) Z(\lambda) d\lambda,$$

$$T_k = \int_{400}^{700} T(\lambda) E(\lambda) K(\lambda) d\lambda,$$

где  $T(\lambda)$  — коэффициент пропускания при различных длинах волн, полученный на основе спектральной характеристики цвета;  $E(\lambda)$  — распределение энергии в спектре источника света при различных длинах волн;  $C(\lambda)$ ,  $Z(\lambda)$  и  $K(\lambda)$  — ординаты кривых сложения зональной системы (синяя, зеленая и красная). При пользовании трехцветными колориметрами и фотоэлектрическими денситометрами со светофильтрами последние должны быть проградуированы в зональной системе. Получение на любом из указанных приборов характеристики цвета в международной системе позволяет перевести эти данные в зональную систему по приведенным выше формулам.

Ниже даем два примера практического использования трехзональной системы.



Триада красителей

Таблица 4

№ по- пор.	Цвет	Расчет по спектрам			Расчет по зонам		
		$D_c$	$D_a$	$D_n$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
1	г	0,04	0,40	0,22	—	—	—
2	2 г	0,08	0,21	0,44	—	—	—
3	4 г	0,17	0,41	0,92	—	—	—
4	п	0,05	0,17	0,05	—	—	—
5	2 п	0,11	0,36	0,06	—	—	—
6	4 п	0,21	0,78	0,12	—	—	—
7	ж	0,11	0,00	0,00	—	—	—
8	2 ж	0,23	0,00	0,00	—	—	—
9	4 ж	0,47	0,01	0,00	—	—	—
10	п + ж	0,17	0,21	0,00	0,16	0,17	0,035
11	2п + 2ж	0,34	0,34	0,07	0,34	0,36	0,06
12	4п + 4ж	0,68	0,72	0,13	0,63	0,79	0,12
13	п + г	0,09	0,27	0,24	0,09	0,27	0,26
14	2п + 2г	0,20	0,55	0,49	0,19	0,57	0,50
15	4п + 4г	0,39	1,15	0,94	0,38	1,19	1,04
16	г + ж	0,16	0,10	0,22	0,15	0,40	0,22
17	2г + 2ж	0,31	0,20	0,44	0,31	0,21	0,44
18	4г + 4ж	0,64	0,42	0,92	0,64	0,42	0,92
19	8ж + 4п + 0,8ж	1,05	0,19	0,03	1,08	0,19	0,035
20	8ж + 2п + 1,6 ж	1,20	0,36	0,07	1,23	0,38	0,06
21	8ж + 4п + 3,2ж	1,50	0,74	0,13	1,50	0,80	0,12

## 2. Использование трехзональной системы при определении цветового охвата положительной трехслойной пленки

Цветовым охватом синтеза в трехслойной положительной пленке называется совокупность цветов, которые возможно получить при различных вариантах переменных факторов синтеза в определенных пределах. Любой цвет при данном методе синтеза можно получить только при определенных соотношениях трех красителей. Поэтому если цвет объекта съемки выражен в определенных количествах трех красителей, применяемых в данном процессе, а при помощи положительной пленки нельзя получить требуемые количества этих красителей, то в этом случае фотографируемый объект не укладывается в цветовой охват и будет искажен по цветовой передаче.

Характеристические кривые различных положительных пленок, выраженные в визуальной эквивалентно-серых плотностях, имеют минимальную плотность 0,5 и максимальную порядка 2,5; в этих пределах характеристические кривые желтого, пурпурного и голубого идут параллельно. Поэтому максимальная плотность красителей для передачи ахроматического будет соответствовать  $D = 2,0$ . При такой визуальной эквивалентно-серой плотности были рассчитаны зональные эквивалентные плотности желтого, пурпурного и голубого и далее; соответственно сложением зональных плотностей желтого и пурпурного получается красный, желтого и голубого — зеленый, пурпурного и голубого — синий.

Ниже приведены расчетные данные.

	$D_c$	$D_a$	$D_n$
Желтый . . . . .	1,20	0,20	0,05
Пурпурный . . . . .	0,76	1,60	0,42
Голубой . . . . .	0,04	0,20	1,53
Красный . . . . .	1,96	1,80	0,47
Зеленый . . . . .	1,24	0,40	1,58
Синий . . . . .	0,80	1,80	1,95

Очень наглядно выражается цветовой охват графически (рис. 3). На графике три единичных вектора — красный, зеленый и синий — берутся в соответствии с зональными оптимальными цветами, у которых коэффициент пропускания в собственной зоне равен единице, а в двух других — нулю. Поэтому оптимальные цвета желтый, пурпурный и голубой имеют в двух зонах коэффициенты пропускания, равные единице, а в третьей зоне — нулю.

В соответствии с приведенными выше данными на графике отложены реальные цвета положительной трехслойной пленки, что показывает ее цветовой охват. Из графика видно, что желтый приближается к оранжевым, пурпурный — к красным, а голубой — к синим по сравнению с оптимальными цветами, что при их субтрактивном синтезе значительно уменьшает насыщенность смешанных цветов, в особенности зеленого и сине-фиолетового.

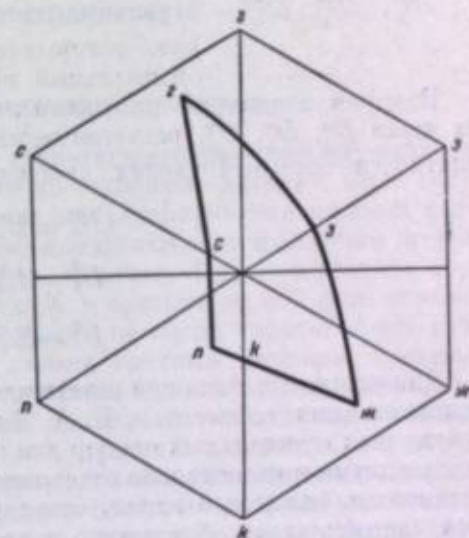


Рис. 3. Цветовой охват положительной трехслойной пленки.

## 3. Использование трехзональной системы для установки света при печати на цветных кинофотоматериалах

Известно, что методы определения корректирующих светофильтров при печати на цветных кинофотоматериалах весьма сложны, требуют большой затраты времени и материалов и основаны на многократной печати пробных позитивов. На основе трехзональной системы был разработан нами совместно с Е. А. Иофисом расчетный метод определения корректирующих светофильтров при печати, а также для нормирования положительной пленки.

Допустим, что на типовую негативную цветную пленку сняты различные цветные объекты и ахроматическая таблица. Сюжетно важная часть объекта (человеческое лицо, зелень, небо) или ахроматическая таблица подвергается измерению в зональной системе. Установив, при каких корректирующих светофильтрах с типового негатива получается опти-



мальная цветопередача при печати позитива, можно в дальнейшем с любого негатива вести печать позитива расчетным путем, по формулам:

$$D_c^o = D_c^{нт} + D_c^{\phi\tau},$$

$$D_a^o = D_a^{нт} + D_a^{\phi\tau},$$

$$D_n^o = D_n^{нт} + D_n^{\phi\tau},$$

где

$D_c^o, D_a^o, D_n^o$  — зональные плотности оптимального негатива;  
 $D_c^{нт}, D_a^{нт}, D_n^{нт}$  — зональные плотности негатива, принятого за тип;  
 $D_c^{\phi\tau}, D_a^{\phi\tau}, D_n^{\phi\tau}$  — зональные плотности корректирующих светофильтров, которые с типовым негативом обеспечивают оптимальный позитив.

Измерив зональные плотности любого цветного негатива и выразив их через  $D_c^n, D_a^n, D_n^n$ , расчетом можно определить требуемые зональные плотности корректирующих светофильтров:

$$D_c^{\phi} = D_c^o - D_c^n,$$

$$D_a^{\phi} = D_a^o - D_a^n,$$

$$D_n^{\phi} = D_n^o - D_n^n.$$

Для установки света при печати цветных фильмов в производственных условиях нами совместно с Е. А. Иофисом и К. С. Спасским был сконструирован специальный прибор для пробной цветной кинопечати в виде стола с двумя горизонтально расположенными моталками, между которыми установлен фильмовый канал, стандартный набор сменных коррекционных светофильтров, фотозатвор и светонепроницаемая кассета с цветной позитивной пленкой. При помощи этого прибора можно видеть изображение на экране и промерять различные участки кадра негатива в зональной системе.

Фотолюбители, не имеющие приборов для определения зональных характеристик, могут использовать небольшой атлас цветов, выраженных в зональной системе. Сущность способа заключается в том, что с негатива производят печать на трехслойную фотобумагу без коррекционных светофильтров и обрабатывают полученный отпечаток в обычных условиях. При получении неправильной цветопередачи снятых объектов выбирают изображение сюжетно важной части объекта съемки (человеческое лицо, зелень, небо или ахроматический цвет), сравнивают его приблизительно с цветами атласа и выбирают соответствующий цвет. По атласу выбирают цвет, который должно иметь изображение объекта. Корректирующий светофильтр для печати устанавливают по разности зональных плотностей: полученных и заданных.

В. И. УСПЕНСКИЙ и С. М. АНТОНОВ

## ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ КОНТРАТИПИРОВАНИЯ ЦВЕТНЫХ ФИЛЬМОВ<sup>1</sup>

### 1. Общая характеристика проблемы

Одной из существенных причин, препятствовавших быстрому развитию цветной кинематографии на цветных многослойных пленках, было отсутствие практически пригодного метода контраптирования цветных фильмов, вследствие чего размножение цветных фильмов до последнего времени проводилось только с оригинального негатива. При осторожном обращении с негативом удавалось получать в среднем до 500 фильмокопий. Поскольку такое количество фильмокопий не могло удовлетворить нужд проката, был установлен порядок съемки цветных фильмов, предусматривающий изготовление второго негатива. Однако второй негатив мог быть изготовлен только для фильмов, снимаемых в павильонах, главным образом художественных. Кроме того, практика показала, что вторые негативы оказывались менее удовлетворительными по сравнению с первым, и в то же время их наличие не решало полностью проблемы массовой печати цветных фильмокопий. Наконец, имеется большая группа фильмов, главным образом хроникально-документальных и научно-популярных, для которых изготовление вторых негативов практически невозможно.

Между тем требования киносети к количеству цветных фильмокопий те же, что и для черно-белых фильмов: 1500—2000 копий, в случае художественных фильмов. Быстро растущая сельская киносеть требует дополнительно большого количества узких 16-мм цветных фильмокопий. Все это количество широких и узких фильмокопий должно выпускаться в очень короткие сроки. Последнее может быть осуществлено только в том случае, если печать того или иного цветного фильма будет проводиться несколькими копирувальными предприятиями одновременно. Далее, современная техника производства фильмов, широкое применение различных способов трюковых киносъемок также требуют разработки удовлетворительного метода цветного контраптирования.

Наконец, если учесть также необходимость сохранения оригинального негатива для нужд повторного тиража цветных фильмокопий, то актуальность разработки удовлетворительного метода контраптирования станет очевидной.

<sup>1</sup> В экспериментальном исследовании принимали участие Н. П. Крашенинников и Ю. И. Булки.



## 2. Способы контрастирования

Контратипы цветных фильмов можно получить тремя способами:

- 1) через промежуточный позитив,
- 2) путем использования специальной цветной обратимой пленки и
- 3) посредством выкопировки цветоделенных промежуточных черно-белых позитивов.

Первый способ, применяющийся для контрастирования черно-белых фильмов, пока не дал положительных результатов вследствие больших искажений в цветопередаче. В соответствии с этой схемой, с оригинального негатива должен быть сначала изготовлен цветной промежуточный позитив, а с последнего — цветной контратип. Практическая проверка данного способа с использованием имеющихся в ассортименте позитивной и негативной многослойных пленок показала, что цветопередача значительно ухудшается.

Второй способ контрастирования цветных фильмов основан на применении специальной многослойной пленки с цветным проявлением обращенного изображения. Он получил название прямого контрастирования, так как контратип изготавливается непосредственно с оригинального негатива. Этот процесс имеет ряд существенных преимуществ: позволяет в сравнительно короткий срок получить цветной контратип, значительно упрощает получение лабораторных напылов и затемнений и расширяет возможность применения методов тьюковой печати в цветной кинематографии.

Основными задачами в разработке этого способа являются:

- 1) изготовление специальной многослойной обратимой пленки с сенсибилизацией слоев такой же, как у цветной позитивной пленки, и с компонентами цветной негативной пленки;
- 2) установление рецептуры и режимов обработки;
- 3) конструирование производственного оборудования. Для обработки обратимой пленки сравнительно легко может быть приспособлен один из существующих типов проявочных машин. Более трудной задачей является конструирование оптического копировального аппарата. Печать контратипа на обратимой пленке должна производиться на копировальном аппарате оптической печати для того, чтобы получить изображение, конгруэнтное по отношению к негативу.

Третий способ контрастирования основан на выкопировке цветоделенных промежуточных черно-белых позитивов.

Выкопировка цветоделенных промежуточных позитивов производится на обычной черно-белой панхроматической пленке посредством печати через цветоделительные светофильтры. С полученных цветоделенных промежуточных позитивов осуществляется последовательная печать через цветоделительные светофильтры на цветной негативной пленке.

При положительном решении задачи получения в производственных условиях высококачественного цветного контратипа с цветоделенных черно-белых позитивов решается и вопрос о долгосрочном хранении цветных фильмов, поскольку хранятся цветоделенные черно-белые позитивы, обладающие значительно большей сохранимостью, чем изображения многослойных пленок.

Данный способ представляет также большие возможности для устранения влияния некоторых недостатков, имеющихся в оригинальном негативе, путем применения «масок» и исправления контраста отдельных изображений.

## 3. Результаты экспериментальной работы

Содержанием экспериментальной работы была лабораторная и технологическая разработка метода прямого цветного контрастирования.

Проведенные сенситометрические испытания цветной обратимой пленки для контрастирования показали, что первые образцы были мало удовлетворительны. Характеристические кривые зеленочувствительного и красночувствительного слоев были практически параллельны, но синечувствительный слой имел характеристическую кривую с резким изгибом и возрастающим градиентом в области больших плотностей.

Светочувствительность отдельных слоев пленки оказалась различной, а вуаль — довольно высокой.

Сенситометрическая проверка последующих образцов показала, что ее баланс мог быть значительно улучшен путем усовершенствования технологии ее изготовления (см. рис. 1).

Разрешающая способность пленки, определенная при помощи резольвометра Бурмистрова, оказалась равной приблизительно 60 линиям на 1 мм.

В дальнейшей работе была поставлена задача определить, в какой мере пленка для цветного контрастирования правильно воспроизводит исходный негатив. Для суждения о правильности воспроизведения негатива цветной таблицы при ее контрастировании был применен зональный метод, разработанный Н. С. Овечкисом.

Исходный негатив и полученный с него контратип, наиболее близкий по визуальной оценке, промеряли на спектродензографе, и результаты промеров пересчитывали в зональные плотности. Полученные сравнительные определения зональных плотностей исходного негатива и контратипа цветной таблицы приведены в виде графиков на рис. 2. Из рассмотрения их видно, что в процессе контрастирования происходит некоторое уменьшение насыщенности цветов, за исключением желтых, насыщенность которых возрастает. Последнее может быть объяснено тем, что использованная пленка имела повышенный коэффициент контрастности желтого слоя по сравнению с голубым и пурпурным.

Одной из главных задач этой работы было нахождение способов регулирования величин коэффициентов контрастности слоев, а также уменьшения вуали в процессе обработки пленки.

Результаты проведенного исследования показали, что изменением режимов черно-белого и цветного проявления можно регулировать контраст получаемого цветного контратипа. Практически удобнее регулировать контраст посредством изменения режима цветного проявления.

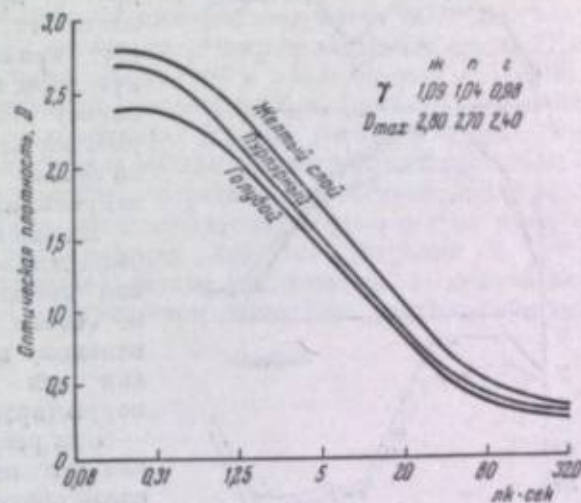


Рис. 1. Характеристические кривые цветной обратимой пленки для прямого контрастирования цветных негативов.



Однако следует иметь в виду возможность некоторого изменения баланса контрастива. Установлено заметное влияние на баланс содержания брома в цветном проявителе. На величину цветной вуали в контрастиве в наибольшей степени влияет продолжительность промывки пленки после цветного проявления.

Получение контрастивов с кинонегативов цветных фильмов имеет свои особенности, заключающиеся в том, что в одной части кинофильмов имеется большое число отдельных планов, до 50—80. Это отражается на качестве

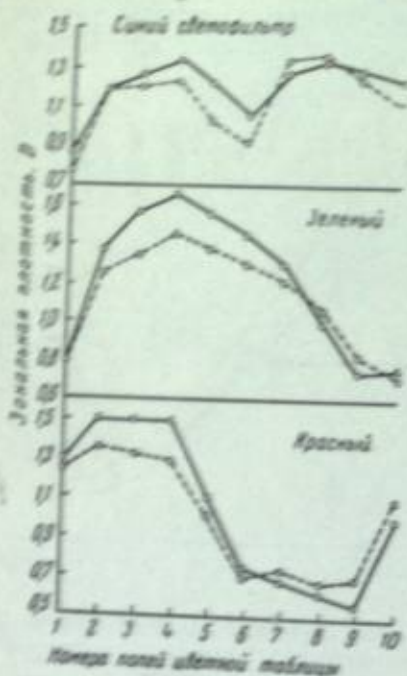


Рис. 2. Графики зональных плотностей различных зонной цветной таблицы в цветном негативе (сплошные линии) и в контрастиве (пунктирные линии).

1 — синьо-фиолетовый; 2 — синий; 3 и 4 — синьо-фиолетовый; 5 — фиолетовый; 6 — пурпурный; 7 — оранжевый; 8 — желто-оранжевый; 9 — желтый; 10 — желто-зеленый.

получаемого контрастива, так как все планы части, отличающиеся друг от друга по цветовому балансу, плотности, а нередко и по контрасту, приходится контрастировать при одних и тех же средних режимах, потому что изменение режимов обработки для отдельных планов с точки зрения производственной работы неприемлемо.

В данной работе в первую очередь была доказана возможность получения цветного контрастива, близкого по своим характеристикам оригинальному негативу, путем применения при печати соответствующих корректирующих светофильтров.

Был разработан процесс получения так называемого «выровненного» контрастива, при печати с которого, как и в случае обычной печати с цветного негатива, требуется применять цветовой паспорт.

Для печати невыровненного контрастива подбирается только корректирующий форфильтр, нормирующий цветную обратимую пленку, используемую для получения контрастива с цветного негатива. Практически применение общего форфильтра при печати негативных планов с различ-

ными характеристиками не позволяет получить контрастив, полностью идентичный оригинальному негативу. Таким образом, при печати цветного позитива цветовой паспорт с оригинального негатива никогда не соответствует цветному паспорту контрастива. Следовательно, после изготовления контрастива к нему должен быть подобран соответствующий цветовой паспорт, что весьма усложняет технологический процесс массовой печати цветных кинокопий.

Для массовой печати цветных фильмов выгодно иметь «выровненный» цветной контрастив, печать с которого требует лишь подбора соответствующего форфильтра без использования при этом цветного паспорта. Однако получение выровненного цветного контрастива связывается с трудностями установления очень точного цветного паспорта при печати контрастива и требует использования пленки для контрастирования, хорошо сбалансированной. Возможность получения выровненного контрастива была экспериментально проверена и принципиально подтвердилась.

Одним из серьезных препятствий для технологической разработки получения невыровненного и выровненного контрастива является отсутствие разработанных технических требований к цветному многослойному негативу. В результате этого в негативах цветных фильмов, передаваемых студиями для массовой печати, содержатся отдельные планы, значительно отличающиеся друг от друга по цветовым характеристикам и по плотности.

Несомненно, что высококачественное контрастирование цветных фильмов будет весьма затруднено без решения вопроса о технических требованиях к цветному негативу и введения порядка, исключающего монтаж цветного фильма из кусков, значительно отличающихся по своим техническим характеристикам.

Для печати контрастивов цветных кинофильмов могут быть использованы обычные (контактные) и оптические копировальные аппараты. Применение обычных копировальных аппаратов в практическом отношении удобнее, но при этом уменьшается резкость изображения в контрастиве вследствие печати через целлулоидную сторону негатива. Оптический копировальный аппарат обеспечивает вполне удовлетворительное качество изображения в получаемом цветном контрастиве, но он менее производителен; кроме того, необходимо, чтобы негативный материал не имел со стороны основы пленки механических дефектов (царапин и др.), так как последние при оптической печати усиливаются в получаемом контрастиве, что делает его в техническом отношении непригодным для использования.



части картины затрачивается в большинстве случаев больше одного рабочего дня.

При проведении указанного процесса к установщикам света предъявляются высокие требования. От точности проведения цветовой настройки зависит хорошее качество цветных фильмокопий, от быстроты ее осуществления — возможность своевременного выполнения заданий по выпуску и доведению до экрана цветных кинокартин. Рационализация этого процесса является поэтому одной из важных задач технологии обработки цветной многослойной пленки.

## 2. Серая шкала для контроля цветных киносъемок

В настоящее время наиболее правильным показателем высокого качества цветопередачи считается точное воспроизведение на цветном многослойном материале оптически нейтральной серой шкалы. Считается, что если процесс на данном цветном материале позволяет точно воспроизвести такую шкалу, то воспроизведение любых других цветов будет близким к оптимальному.

В процессе цветных киносъемок серая шкала снимается в начале каждого плана. Шкала устанавливается в том месте данной сцены, где находится наиболее важная деталь. Снимки серой шкалы обрабатываются вместе с негативом изображения. Поэтому по негативам изображения серой шкалы можно судить не только о правильности условий съемки всего негатива, но и о качестве использованной цветной негативной пленки и о режимах обработки. Следовательно, серая шкала может являться ценным контрольным документом как для съемочной группы, так и для лаборатории, обрабатывающей цветной негатив.

Для того чтобы серая шкала могла служить для оценки правильности условий съемки цветного негатива и последующей его обработки в проявочной машине, с одной стороны, и для того, чтобы ее можно было использовать для целей установки света, с другой стороны, размеры изображения шкалы в негативе должны быть такими, чтобы плотности отдельного поля шкалы можно было измерить при помощи того или иного прибора.

Применяются три различных размера серой шкалы: при съемках деталей или портретов крупным планом длина шкалы около 30 см, при съемках удаленных и общих планов 1,4 м, в остальных случаях 40—50 см.

При соблюдении установленных условий размеры серой шкалы в негативе должны занимать примерно одну треть часть кадра, причем размер изображения отдельного поля шкалы, выбранного в качестве контрольного, получается не менее 2,5 мм в поперечнике.

Операторы считают полезным применять серую шкалу при съемках портрета и особенно при пробах грима, в остальных случаях значение этой шкалы очень часто недооценивается, вследствие чего невозможно практически реализовать методы установки света, основанные на применении серой шкалы.

## 3. Методы установки света, основанные на применении серой шкалы

Эти методы установки света основаны на использовании изображения серой шкалы в негативе для количественного определения разницы в цветовой характеристике и плотности между двумя различными негативами, из которых один принимается за эталон и для

С.С. АНТОНОВ и Ю.Л. БУДУНОВ

## ОБЩЕЕ МЕТОДОВ ОБЪЕКТИВНОЙ УСТАНОВКИ СВЕТА ПРИ СУБТРАКТИВНОМ СПОСОБЕ ПЕЧАТИ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

### 1. Введение

При печати цветных изображений на многослойной пленке приходится учитывать «спектральный» состав света для получения «правильной» цветопередачи. Причины ухудшения цветопередачи являются: 1) отклонения спектральных характеристик в негативную пленку от свойств пленок-эталона; 2) отклонения условий освещения; 3) влияние условий обработки.

Важным фактором установки света в негативно-позитивном процессе является многослойная кинопленка, заключающаяся не только в многослойности, но и в зависимости от светочувствительности отдельных слоев и плотности негатива, но и в определенном соотношении слоев.

Спектральный состав света, спектральный состав регистрируется при помощи фотометрических приборов (фотометров, курвиметров, рефрактометров, спектрометров) и т.д. с отверстиями различной формы и размера. Для точной установки света в процессе съемки необходимо использовать специальную шкалу, в которой

используется специальная шкала, позволяющая измерять плотность изображения шкалы в негативе. Шкала устанавливается в том месте сцены, где находится наиболее важная деталь. Снимки серой шкалы обрабатываются вместе с негативом изображения. Поэтому по негативам изображения серой шкалы можно судить не только о правильности условий съемки всего негатива, но и о качестве использованной цветной негативной пленки и о режимах обработки.

Для того чтобы серая шкала могла служить для оценки правильности условий съемки цветного негатива и последующей его обработки в проявочной машине, с одной стороны, и для того, чтобы ее можно было использовать для целей установки света, с другой стороны, размеры изображения шкалы в негативе должны быть такими, чтобы плотности отдельного поля шкалы можно было измерить при помощи того или иного прибора.



которого цветовая настройка при печати с него позитива известна. Найденная разница, выраженная в тех или иных единицах (например, в относительных процентах цветных копировальных фильтров, в копировальных плотностях и т. д.), характеризует те изменения в цветовой настройке, которые необходимо сделать для того, чтобы с каждого следующего за эталоном негатива отпечатать позитив с достаточно правильной цветопередачей.

Преимуществом указанных методов является то, что они не требуют никаких изменений копировальных аппаратов для печати цветных изображений. Общим недостатком этих методов является необходимость съемки серой шкалы в начале или в конце каждого плана, потому что возможность такой съемки до некоторой степени ограничена. Это относится главным образом к хроникальным съемкам, случаям съемки с эффективным освещением, к съемкам наплывов и затемнений.

К числу методов установки света, основанных на применении серой шкалы, относятся: 1) метод визуального уравнивания с тест-негативом, 2) фотоэлектрический метод уравнивания с тест-негативом, 3) расчетный сенситометрический метод и 4) метод, основанный на применении зональной системы. Ниже рассматриваются первые два метода.

Работа по методу визуального уравнивания проводилась Ю. И. Букиным и С. М. Антоновым, по фотоэлектрическому методу — И. М. Федоровым, С. Н. Подлесных и Л. Я. Крауш.

#### 4. Метод визуального уравнивания с тест-негативом

Метод визуального уравнивания с тест-негативом не может быть отнесен к числу наиболее точных способов, поскольку в основе его лежит допущение, что если негатив с заданными на него фильтрами не отличается по цвету и плотности от тест-негатива, то он не будет отличаться от него и по фотографическому действию на цветную позитивную пленку.

Это допущение применительно к методу визуального уравнивания было бы справедливым в том случае, если бы красители копировальных фильтров имели кривые спектрального поглощения, не отличающиеся от таковых для соответствующих красителей, образующихся в эмульсионных слоях негативной киноплемки. В этом случае метод визуального уравнивания мог бы представлять весьма простой и точный способ установки света при печати цветных фильмов. Однако в настоящее время для изготовления пленочных копировальных фильтров применяются красители, имеющие кривые спектрального поглощения, отличные от кривых поглощения красителей негативной пленки. Малая точность данного метода объясняется также тем, что одновременно с различием спектральных характеристик красителей копировальных фильтров и красителей негативной пленки существует различие в спектральной чувствительности глаза и фотоэлектрической пленки.

При применении указанных различий для плотных негативов уравнивание по яркости и цвету и другим характеристикам в одном из двух цветовых каналов копировальных фильтров и киноплемки, состоящих из одинаковых слоев, может осуществляться на значительном расстоянии от негатива, что значительно повышает удобство работы. При этом различие в фотографическом действии между двумя каналами уравнивания и между собой негативов будет тем больше, чем больше различие в характеристиках копировальных фильтров, применяемых для уравнивания.

Несмотря на указанные недостатки, метод был подтвержден разработкой, вышедшей в печать, а также потому, что в результате экспериментальных

лабораторных опытов можно было предполагать, что при соблюдении определенных условий ошибки цветовой настройки не будут выходить за пределы, установленные для грубой цветовой настройки.

Для того чтобы от лабораторных испытаний перейти к практическому применению его в производственных условиях, необходимо было: 1) сконструировать и изготовить прибор для визуального уравнивания; 2) установить требования к эталону для сравнения; 3) установить параметры поля, принимаемого для сравнения (его размеры и оптическую плотность) и в соответствии с этим разработать специальные серые шкалы для цветных съемок, удовлетворяющие предъявляемым к ним требованиям

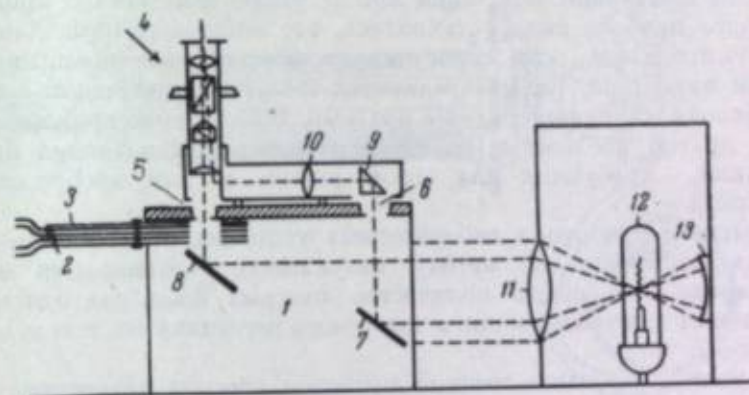


Рис. 1. Схема прибора для установки света по методу визуального уравнивания.

1 — корпус прибора; 2 — диски со светофильтрами; 3 — верхний неподвижный диск; 4 — поляризационная головка; 5 — поле сравнения для испытуемого негатива; 6 — поле сравнения для эталона; 7 — первое зеркало; 8 — второе зеркало; 9 — приз; 10 — диафрагма; 11 — конденсор; 12 — апертурная диафрагма; 13 — рефлектор.

с точки зрения установки света; 4) собрать большое количество образцов цветных кинонегативов с контрольными серыми шкалами для определения предела колебаний характеристики цвета и плотности, которые допускаются при производственных съемках кинокартин и от которых зависит величина возможных ошибок.

Прибор разработан Ю. И. Букиным и С. М. Антоновым. Схема этого прибора приведена на рис. 1. Прибор снабжен поляризационной головкой для регулирования яркостей полей сравнения при уравнивании двух цветных негативов по цвету. Уравнивание по цвету производится при помощи применяющихся для субтрактивной печати цветных фильмов, желтых, пурпурных и голубых копировальных фильтров. Фильтры смонтированы на соответствующих дисках в виде ступенчатых клиньев, плотность фильтров возрастает от одного к другому на 5%. Эталонный негатив помещается над правым отверстием прибора, испытуемый — над левым. Прибор обеспечивает возможность уравнивания по цвету и плотности контрольных полей в негативах, площадь которых не превышает 2—3 мм. Сам процесс уравнивания может производиться с точностью до 2—3%.

Как уже было указано, для того чтобы обеспечить возможно максимальную точность цветовой настройки, необходимо было установить значительное фотографическое действие того поля серой шкалы, которое следует выбрать в качестве контрольного.



В результате опытов было установлено, что наиболее подходящим является поле серой шкалы с плотностью 0,9. Плотность этого поля в негативе колеблется примерно от 0,55 до 1,05 и не бывает меньше плотности начала прямолинейного участка характеристической кривой, если при съемке не было значительной недодержки. В позитиве контрольная плотность может колебаться в пределах от 1,0 до 2,0, но всегда находится на прямолинейном участке характеристической кривой. Начиная с выбранной нами плотности в негативе и при большей плотности, цветовой баланс в негативе практически не изменяется; при меньших плотностях он изменяется в заметной степени.

При лабораторном испытании метода установки света с применением описанного прибора было установлено, что выбранное нами для уравнивания контрольное поле серой шкалы обеспечивает возможность как цветовой настройки, так и определения требуемых изменений экспозиции при переходе от одного плана к другому. В случае выбора контрольного поля с другой плотностью удовлетворительного совпадения изменений экспозиции, требуемых для серой шкалы и для изображения, не получалось.

Испытание прибора в лабораторных условиях показало, что грубая цветовая настройка по методу визуального уравнивания возможна при условии, что общее количество цветных фильтров одного цвета, необходимых для уравнивания испытуемого негатива с эталоном, не превышает 65—75%.

В процессе производственной проверки способа установки света по методу визуального уравнивания было собрано около 300 образцов негативов с серыми шкалами по различным цветным кинокартинам. При помощи прибора для установки света для большинства из них была определена характеристика преобладающего цвета, выраженная в процентах копируемых фильтров.

Полученные данные показывают, что для 95% негативов характеристика преобладающего цвета колеблется в пределах от 30—40—00 до 110—115—00, т. е. для желтого цвета от 30 до 110, для пурпурного цвета — от 40 до 115. Это показывает, что максимальное колебание цветовой настройки в пределах одной кинокартины не превышает 70—80% для каждого из преобладающих цветов. Если в качестве эталона брать один из первых кадров или планов данной картины, то максимальное количество фильтров, которое потребуется для визуального уравнивания снимаемых негативов с эталоном, не будет превышать 65—75%, так как, очевидно, эталон должен представлять собой негатив с некоторой более или менее средней характеристикой, и в процессе съемки возможны отклонения от эталона в обе стороны.

### 5. Фотоэлектрический метод уравнивания с тест-негативом

Преимущества метода установки света при помощи фотоэлектрического прибора заключаются в том, что используемый при измерении цветных негативов фотоэлемент можно подобрать со спектральной чувствительностью, достаточно близкой к спектральной чувствительности позитивной цветной пленки. Следовательно, негативы, уравненные между собой по цвету и плотности при помощи такого фотоэлемента, будут практически близки и по своим фотографическим свойствам в отношении позитивной цветной пленки.

Принципиальная схема фотоэлектрического прибора для установки света по данному методу, разработанного И. М. Федоровым, С. Н. Подлесных и Л. Я. Крауш, показана на рис. 2. Как видно из схемы, световой поток, идущий от лампы накаливания, проходит через конденсор, теплозащитный фильтр, красный, зеленый или синий фильтр, цветные клинья, затем через объектив, через измеряемое поле и поступает на фотоэлемент. Фотоэлемент соединен с гальванометром, шкала которого может быть отградуирована в величинах копируемых плотностей. Установка света с применением такого прибора также требует наличия в цветном негативе изображения серой шкалы.

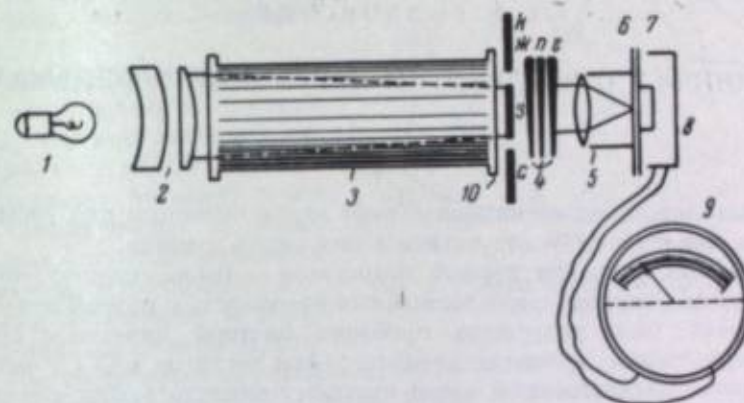


Рис. 2. Схема фотоэлектрического прибора для установки света.

1 — лампа накаливания; 2 — конденсор; 3 — теплозащитный фильтр; 4 — цветные клинья; 5 — объектив; 6 — измерительная плотность; 7 — опаловое стекло; 8 — фотоэлемент; 9 — гальванометр; 10 — цветные фильтры (красный, зеленый, синий).

В данном случае, как и при установке света по методу визуального уравнивания, характеристика того или иного неизвестного негатива сравнивается с характеристикой эталонного негатива, цветовая настройка для которого находится эмпирически, путем печати проб со стандартным паспортом. Разница между характеристиками неизвестного негатива и эталона уравнивается путем введения той или иной комбинации из имеющихся в приборе трех цветных клиньев — желтого, пурпурного и голубого.

Уравнивание при помощи указанных цветных клиньев производится поочередно за красным, за зеленым и за синим фильтрами таким образом, чтобы показания гальванометра за каждым из этих фильтров при измерении неизвестного негатива совпадали с показаниями гальванометра за теми же фильтрами при измерении эталона. Когда это равенство достигнуто, отмечают положение желтого, пурпурного и голубого клина. По положению цветных клиньев определяют цветопередачи при печати позитивов с данного негатива, так как цветные клинья (желтый, пурпурный и голубой) отградуированы в относительных процентах копируемых фильтров.

При лабораторном испытании фотоэлектрического метода уравнивания с тест-негативом были получены удовлетворительные результаты.



Е. М. ГОЛДОВСКИЙ

К ВОПРОСУ О ВОСПРИЯТИИ ЦВЕТА В КИНОФИЛЬМАХ

1. Введение

С первых лет развития кинематографа стали очевидны два громадных недостатка кинокартин — отсутствие в них звука и цвета.

Сначала был устранен первый недостаток — было создано звуковое кино. Несколькими годами позже стало возможным преодолеть и второй недостаток кинематографа: была разрешена проблема цветной кинематографии.

В последнее время цветная кинематография достигла в СССР невиданного расцвета. Отечественный метод цветной кинематографии использует

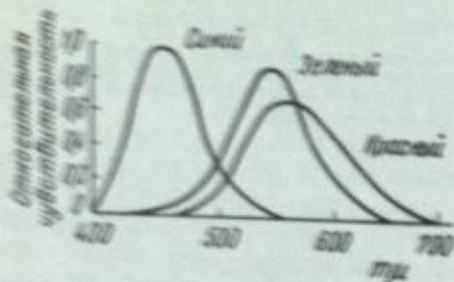


Рис. 1. Кривые чувствительности слезоощущающего, желтоощущающего и красноощущающего приемника глаза.

негативно-позитивный процесс на многослойных киноплёнках. Этот способ производства цветных кинокартин является трехцветным, т. е. основан на получении всех цветов природы при помощи трех элементарных цветов. Таким образом, в основе указанного способа цветного кино лежит тот же принцип, что и в основе цветного зрения. В настоящее время считают, что сетчатка глаза имеет три приемника — красноощущающий, зеленоощущающий и синеоощущающий (рис. 1). При одинаковом возбуждении всех трех приемников глаз ощущает белый цвет (или разные оттенки серого цвета); если возбуждение их неодинаково — в глазу возникает ощущение определенного цвета.

Трехцветный метод кинематографии не обеспечивает полностью получения совершенных по качеству цветных изображений; цветные изображения кинокартин имеют значительные искажения цветопередачи.

Ухудшение цветопередачи определяется прежде всего тем, что применяемые в многослойных пленках красители не имеют необходимых цветовых характеристик. В результате позитивное цветное изображение на киноплёнке может передать значительно меньшее число цветных оттенков, чем их имеется в снимаемых предметах, и многие цвета передаются искаженными. Так, например, зеленый, голубой, синий и пурпурный красители обладают сравнительно небольшой чистотой — они содержат большой процент белого цвета. Наиболее насыщенными являются красные и желтые цвета; сине-зеленые и зеленые цвета передаются хуже (см. цветовой график многослойного позитива, изображенный на рис. 2).

Все сказанное справедливо в том случае, когда съемка производится на сбалансированной для данного источника освещения киноплёнке; в противном случае цвета в позитиве искажаются. Так, при часто встречающемся отставании светочувствительного слоя негативной пленки от чувствительности других слоев, в сочетании с завышенным его контрастом, в изображении на позитиве света получаются красноватыми, а тени — синеватыми.

Другая причина искажений цветопередачи состоит в том, что многослойные киноплёнки в одном цветном изображении не могут передать самых малых и самых больших яркостей снимаемых предметов. В зависимости от условий освещения и коэффициентов отражения отдельных участков снимаемой сцены яркости их могут различаться в десятки, сотни и даже тысячи раз. В то же время в позитивном изображении на цветной многослойной киноплёнке можно передать соотношение яркостей различных участков не больше чем 1 : 30—1 : 40.

Сказанное подтверждают данные табл. 1, полученные автором совместно с С. А. Друккером путем многочисленных измерений коэффициентов пропускания участков позитивных изображений на многослойной киноплёнке.

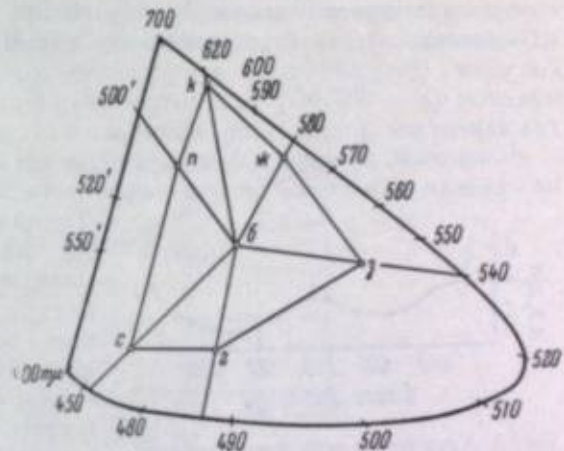


Рис. 2. График цветного охвата многослойной цветной киноплёнки.

Таблица 1

Характеристика участка кадра цветного позитива	Среднее значение коэффициента пропускания	Характеристика участка кадра цветного позитива	Среднее значение коэффициента пропускания
Наиболее светлые места (блики) . . . . .	0,40	Земли . . . . .	0,10
Белые предметы . . . . .	0,35	Трава . . . . .	0,16
Лицо мужское, светлая часть . . . . .	0,16	Зеленая листва деревьев	0,16
Лицо мужское, темная часть . . . . .	0,06	Облака . . . . .	0,25
Лицо женское, светлая часть . . . . .	0,20	Вода . . . . .	0,22
Лицо женское, темная часть . . . . .	0,08	Небо голубое . . . . .	0,02
Одежда темная . . . . .	0,05	Темные складки одежды	
Одежда светлая . . . . .	0,14	Самые темные участки кадра . . . . .	0,01



В результате уменьшения соотношения между яркостью светов и теней происходит уменьшение количества цветовых оттенков и нарушение правильности цветопередачи.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что человеческий глаз обнаруживает изменения окраски некоторых цветов при весьма небольшом изменении их оттенка. Легче всего изменение цветности замечается в зеленовато-голубом ( $\lambda = 494$  м $\mu$ ), в оранжево-желтом ( $\lambda = 585$  м $\mu$ ), оранжево-красном ( $\lambda = 637$  м $\mu$ ) и синевато-фиолетовом ( $\lambda = 443$  м $\mu$ ) оттенках, где изменение длины волны примерно на 1 м $\mu$  уже может быть обнаружено.

В зеленой, красной и фиолетовой частях спектра глаз реагирует слабее, не замечая изменения длины волны света даже на 4 м $\mu$  и более (рис. 3). Таким образом, в самом кинопозитиве на многослойной киноплёнке заключены недостатки, приводящие к искажениям цветопередачи. Возникает вопрос: можно ли при этих нарушениях цветопередачи видеть на экране киноизображения, по цвету достаточно точно воспроизводящие заснятые объекты?

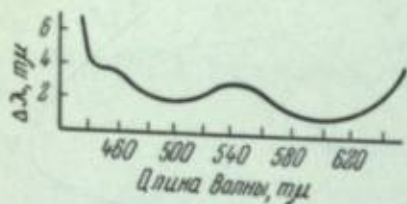


Рис. 3. Характеристика цветоразличительной способности глаза.

Н. Д. Ньюберг показал, что точное совпадение цветов цветного изображения и оригинала (так называемая физиологическая точность воспроизведения цвета) не обязательно. Можно получить ряд цветных изображений, дающих достаточно совершенные представления о цветах заснятых объектов, хотя эти изображения по цветности отличаются от оригинала. При рассмотрении цветных изображений имеют значение психологические моменты зрительных восприятий. Зритель на основе жизненного опыта правильно воспринимает цвета даже несовершенного, в известных пределах, цветного изображения.

Таким образом, при воспроизведении цветных изображений важна не «физиологическая», а «психологическая» точность воспроизведения цвета. Следует отметить, что в процессе демонстрации цветных кинокартин цвет показывается, в отличие от живописи, в движении и во времени. В этих условиях нюанс цветных оттенков и недостатки цветопередачи зритель ощущает в меньшей степени. Зритель не замечает обычно даже значительных ошибок в передаче цвета предметов, обстановки, одежды и т. п. Для него важно лишь, чтобы хорошо известные цвета передавались естественно, в особенности цвет лица актера, цвета зелени и неба.

## 2. Искажения цветопередачи, вызванные процессом кинопроекции

Искажения цветопередачи увеличиваются под влиянием различных условий процесса демонстрации кинокартин, а именно: свойств источников света, метода процирования изображений на экран и особенностей работы глаз зрителей при кинопроекции.

Спектры источников света, используемых для кинопроекции, значительно отличаются друг от друга. На рис. 4 приведены кривые распределения энергии в спектре различных источников света, применяемых в кинопроекторах (энергия излучения при  $\lambda = 555$  м $\mu$  для всех кривых принята одинаковой). Кривая 1 соответствует пламенной дуге (углы «экстра-эффект»), кривая 2 — интенсивным углям 8 мм — 60 А,

кривая 3 — лампе накаливания с плоской спиралью на 30 В, 400 Вт с цветовой температурой 3350°.

Так как цветные копии демонстрируют на кинопроекторных аппаратах с разными источниками света, то искажения цветопередачи неизбежны. Если фильмокопия демонстрируется на передвижном кинопроекторе, где в качестве проекционного источника света применена лампа накаливания,

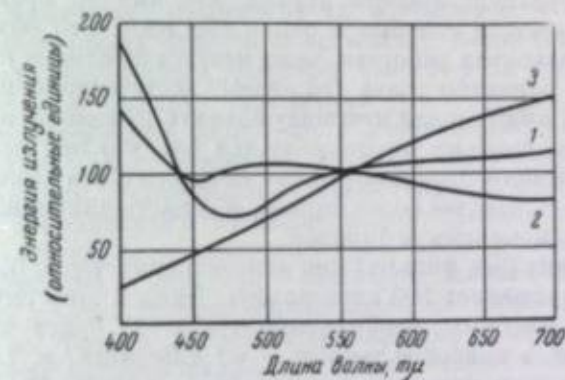


Рис. 4. Спектральная характеристика излучения разных источников света.

1 — углы «экстра-эффект»; 2 — интенсивные углы; 3 — лампа накаливания с плоской спиралью, 3350° К.

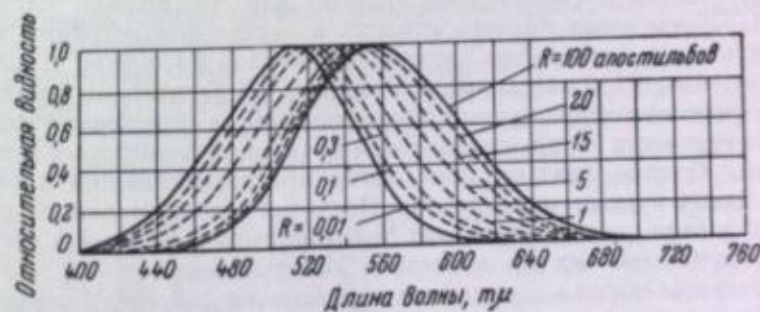


Рис. 5. Кривые видности глаза при различных величинах яркости рассматриваемого фона.

то изображение на экране приобретет красноватую окраску. При использовании интенсивной дуги в больших стационарных кинотеатрах синие и голубые цвета покажутся относительно более яркими. В небольших кинотеатрах, где в качестве проекционного источника света применяется пламенная дуга, изображение на экране приобретает красноватый оттенок. Поскольку один и тот же цветной фильм может в условиях эксплуатации демонстрироваться на некоторый «средний» туре, при его изготовлении ориентируются на некоторый «средний» источник света кинопроектора, и искажения цветопередачи демонстрируемого на экране кинофильма в практических условиях неизбежны.

<sup>1</sup> Это не относится к цветным копиям на узкой плёнке, которые изготавливаются в расчете на проекцию только с одним источником света кинопроектора (лампой накаливания).



Кроме того, иногда экраны в процессе эксплуатации приобретают желтую окраску, вызывающую дополнительные искажения цветопередачи.

Причиной искажений цветопередачи может явиться недостаточная яркость экрана. Чем меньше яркость цветного изображения, тем хуже различает глаз красные оттенки и относительно лучше — голубые и синие. При небольшой яркости экрана красные и оранжевые цвета переходят в черные, а голубые и синие светлеют. Это объясняется тем, что при малых яркостях работают лишь нечувствительные к цветам светочувствительные элементы глаза (палочки); достаточно большие яркости воспринимаются при помощи цветоощущающих приемников глаза — колбочек. Указанное явление характеризуется тем, что при разных уровнях яркости наблюдаемого предмета кривые видности глаза различны (рис. 5). Чем выше яркость, тем все более вправо, в область длинноволновых излучений, сдвигается максимум кривой.

Яркость экрана (без фильма) при демонстрации черно-белых кинокартин обычно не превышает 100 апостильбов. Даже в этом случае наиболее яркий элемент цветного изображения (табл. 1) будет иметь яркость в 40 апостильбов, а наиболее темный — в 1 апостильб, и, следовательно, соответствующие этим яркостям кривые видности (рис. 5) сдвинуты одна относительно другой. Уже по этой причине желательно еще больше увеличить яркость экрана для цветных кинокартин.

При демонстрации цветных кинокартин яркость экрана должна быть большей еще и по другой причине. Наиболее прозрачные участки цветного кинопозитива пропускают примерно в 1,5 раза меньше света, чем такие же участки у черно-белого. Поэтому для достижения одинаковых условий работы глаза яркость экранов в случае демонстрации цветных фильмов должна быть также увеличена примерно в 1,5 раза, т. е. должна составлять около 150 апостильбов. Заметим, что бесцветные (прозрачные) участки фильмопозитива дают на экране не белые, а окрашенные изображения, в зависимости от спектра источника света, примененного для кинопроекции. Однако глаз человека легко приспосабливается к спектрам дуговой лампы и лампы накаливания. После непродолжительного рассматривания экрана, освещенного при помощи этих источников света, он склонен принимать их за источники белого света.

Киноэкраны обычно освещаются неравномерно, яркость центральной части их максимальна, к краям экрана яркость снижается на 20—30% и более. При демонстрации черно-белых фильмов указанная неравномерность яркости экрана может быть допущена в значительных пределах. Практика показывает, что падение яркости экрана к его краям, достигающее даже 40—50%, не является опасным, в особенности, если учесть, что у краев экрана располагаются обычно второстепенные объекты.

Совершенно иначе обстоит дело с цветными изображениями, так как насыщенность цветов зависит от их яркости: при малых яркостях насыщенность незначительна, с ростом освещенности она растет, достигает максимального значения и затем уменьшается при дальнейшем увеличении их яркости. Цвета при этом кажутся блеклыми, с большим содержанием белого цвета. Если на экране демонстрируется одноцветное поле определенного цвета, то при рассматривании его в центре оно будет иметь цвет одной насыщенности; у краев экрана, где яркость падает, оно будет казаться зрителю более «белесым». Кроме того, в противоположность черно-белому изображению, кадр цветного фильма, как показывает опыт, просматривается зрителем по всей площади.

Распределение яркости по поверхности экрана зависит от характеристики отражения последнего. Если поверхность экрана рассеивает свет (обычный тип экрана — полотно, покрытое окислами магния или бария), то характеристика рассеяния экрана почти не влияет на равномерность распределения яркости его поверхности. При киноэкранах, отражающих свет в различных направлениях в разной степени (например, алюминированных), характеристика их поверхности может сильно нарушить равномерность яркости и привести к нарушению цветопередачи проицируемых изображений. Поэтому такого рода экраны непригодны для демонстрации цветных кинокартин (рис. 6).

При рассматривании какого-либо изображения световое ощущение в глазу возникает не сразу, а постепенно. При прекращении рассматривания зрительное ощущение продолжает сохраняться в течение некоторого времени. Это зрительное ощущение, остающееся в глазу после исчезновения раздражителя, называют «последовательным образом». При рассматривании изображений на киноэкране явление восприятия движения обусловлено в определенной степени существованием последовательных образов. Каждый кадр кинокартины проицируется на экран в течение  $\frac{1}{96}$  сек., затем  $\frac{1}{96}$  сек. экран затемнен, следующие  $\frac{1}{96}$  сек. он снова освещен для проицирования того же кадра, далее  $\frac{1}{96}$  сек. снова затемнен. Затем тот же режим освещения экрана повторяется, но проицируется следующий кадр, за ним третий и т. д. (рис. 7).

При демонстрации цветного фильма последовательные образы в течение каждой  $\frac{1}{96}$  доли секунды освещения экрана создаются отдельно в красноощущающем, зеленоощущающем и синеоощущающем приемниках глаза зрителя. Однако время исчезновения последовательного образа для этих трех цветоощущающих приемников глаза различно: сначала исчезает последовательный образ в зеленоощущающем приемнике глаза, затем — в синеоощущающем, последовательный же образ, возникающий в красноощущающем приемнике глаза, сохраняется значительно дольше (рис. 8).

Так как красный цвет обуславливает наибольшую длительность последовательного образа, который сохраняется, когда последовательные образы от синего и зеленого цвета уже исчезнут, то изображение кинокартины на экране приобретает красноватый оттенок. Если от демонстрации неподвижного кадра перейти сразу же к проицированию того же движущегося изображения, то оно ощущается более красным, чем при проекции неподвижного кадра.

Рис. 7. График изменения яркостей экрана при вращающемся обтюраторе (без фильма в проекционном окне).

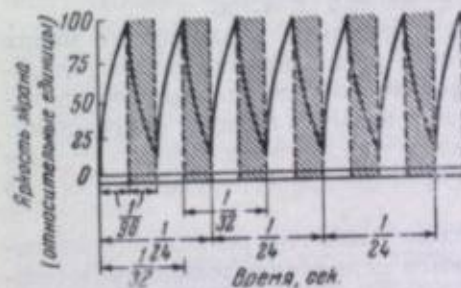


Рис. 6. Характеристика светорассеяния различных киноэкранов.

А — кривая яркости рассеивающего экрана; Б — кривая яркости металлизированного экрана.

Если рассматривать сначала цветную поверхность, а затем белую, то последняя оказывается окрашенной. Так, например, после рассматривания зеленого абажура лампы белая бумага кажется первое время красноватой. Это явление, носящее название «последовательного цветового



контраста», объясняется тем, что при рассматривании цветного изображения соответствующий цветоощущающий элемент глаза устает и в момент последующего рассматривания другого цвета имеет пониженную возбудимость. Таким образом, последовательный контраст наблюдается также и в том случае, когда рассматривают сначала одну цветную поверхность, а затем переводят глаза на поверхность другого цвета. При этом цвет второй поверхности изменяет свою окраску в зависимости от того, какой цвет действовал на глаз прежде и в каких, следовательно, цветоощущающих элементах глаза наступила пониженная возбудимость. Так, если предварительно наблюдался красный цвет, то при переводе глаз на красную же поверхность, она будет казаться грязнокрасной, зеленая поверхность

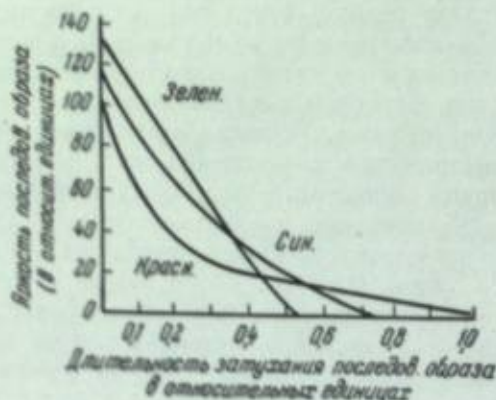


Рис. 8. Характеристика затухания последовательных образов для различных приемников глаза.

будет насыщенно зеленой, синяя — голубой, белая — изумрудно-зеленой. Если предварительно наблюдался желтый цвет, то красная поверхность будет казаться пурпурной, зеленая — голубовато-зеленой, голубая — насыщенно-синей, белая — фиолетовой и т. д.

Так как при демонстрации цветных кинокартин после одного плана показывают другой, имеющий в общем иное распределение цветов отдельных участков, то искажения цветопередачи, обусловленные последовательным цветовым контрастом, неразрывно связаны с показом кинофильма. Это явление можно назвать внутренним последовательным цветовым контрастом, так как влияние его определяется содержанием кадров фильма.

К искажениям цветопередачи, обусловленным внутренним последовательным цветовым контрастом, добавляются искажения, вызванные «внешним последовательным цветовым контрастом». Этот последний наблюдается в тех случаях, когда в кинозале расположено значительное число указателей внешних выходов или иных источников освещения. Переводя глаза от лампы, дающих, например, «красное» освещение, на киноэкран, зритель ощущает нарушение цветопередачи, приводящее к грязнокрасной окраске красных поверхностей киноизображений, синей окраске — голубых, зеленой окраске — болых и т. д.

Нужно отметить, что наличие лишнего света в кинозале, как цветного, так и белого, приводит к паразитной засветке экрана. Помимо помехения цветопередачи фильма, это всегда снижает насыщенность цветных изображений на экране. При этом краски оказываются в большей или меньшей степени «разбавленными» белым светом, создавая «белесость»

изображения и резко снижая его качество. В частности, это наблюдается в тех случаях, когда кинопроекторный объектив не просветлен и отраженные поверхностями его линз световые лучи, рассеиваемые внутри оправы объектива, выходят из него, создавая рассеянный паразитный свет, засвечивающий экран.

### 3. Искажения цветопередачи фильма, связанные с положением зрителя в кинозале

Качество цветопередачи зависит также от расстояния зрителя от экрана.

Зрители кинотеатра рассматривают отдельные элементы изображения фильма, демонстрируемого в кинозале, под разными углами, в зависимости от величины этих элементов и удаленности от экрана. Если этот угловой размер меньше определенной величины, то соответствующая деталь изображения становится неразличимой. Как показали опыты, с удалением от объекта рассматривания зритель по-разному различает детали различного цвета. Так, например, черные объекты на желтом фоне и зеленые на черном заметны лучше всего, хуже заметны красные и синие детали на белом фоне, еще хуже белые предметы на синем фоне и черные на белом фоне. Следовательно, в зависимости от положения зрителя в кинозале относительно экрана процируемые на нем цветные изображения будут по-разному восприниматься и часть деталей окажется неразличимой.

В зависимости от углового размера рассматриваемой на экране детали изменяется также и ее цветность. Опыты показывают, что при изменении угловой величины объекта от 8 мин. до 1,5 градусов цвета зеленых и голубых объектов кажутся значительно менее насыщенными, предметы пурпурного цвета при уменьшении их размеров краснеют.

Зрители кинотеатра (особенно сидящие на удаленных местах зала) рассматривают детали процируемых на экране цветных изображений под углами, измеряемыми десятками минут и единицами градусов. Следовательно, небольшие элементы цветного изображения фильма кажутся различной цветности в зависимости от их величины и удаления зрительских мест. Для удаленных от экрана зрителей оттенки даже относительно больших частей цветного изображения будут иными, чем для зрителей, расположенных ближе. Зеленые и голубые части изображения будут казаться более насыщенными, а пурпурные объекты — более красными.

При удалении зрителя от экрана изменяется положение его головы. Близко от экрана сидящие зрители принуждены запрокидывать голову, причем восприятие цвета изменяется. При запрокинутой голове цветовая чувствительность к зеленому цвету ( $\lambda = 570 \text{ м}\mu$ ) уже через 30 мин. падает вдвое, а через 60 мин. достигает четверти величины чувствительности, обнаруживаемой при нормальном расположении головы. Чувствительность к оранжево-красному цвету за то же время несколько увеличивается. Следовательно, кинозрители, сидящие на ближайших к экрану местах, будут ощущать в течение сеанса зеленые цвета изображения все менее и менее яркими, в то время как красные оттенки будут оставаться неизменными, слабо возрастающая по яркости. Зрители, достаточно удаленные от экрана, будут находиться в лучших условиях, рассматривая киноизображение без отмеченных искажений.

Установлено, что восприятие глазом цветов и громкость слышимых одновременно звуков связаны между собой. При этом под влиянием



звучков чувствительность глаза к зеленым и голубым лучам значительно увеличивается, а чувствительность к оранжевым и красным лучам понижается.

Поскольку при звукозаписи в киностудии уровень громкости звучания значительно меньше уровня громкости в кинозале, при демонстрации цветных кинокартин наблюдается увеличение яркости зеленых и синих цветов, в то время как оранжево-красные цвета воспринимаются глазами зрителей как менее яркие. Чем выше уровень громкости звучания, тем чувствительность глаз претерпевает большие изменения при рассмотрении элементов изображения киноэкрана. Так как уровень громкости в процессе звуковоспроизведения непрерывно изменяется, то, строго говоря, кинозрители ощущают непрерывные изменения соотношения яркости элементов видимых на экране цветных изображений. Разноудаленные от экрана зрители слышат звучание с разными уровнями громкости, поэтому демонстрируемые цветные изображения будут восприниматься ими с разными цветонарушениями.

#### 4. Утомление зрителей при демонстрации цветных фильмов

Утомление зрителей при демонстрации цветных кинокартин значительно больше, чем при демонстрации черно-белых. Главнейшей причиной этого является необычность рассматривания глазом в течение 1,5—2 час. непрерывно сменяющихся, находящихся в движении многочисленных цветных изображений. В жизненной практике глаза человека рассматривают цветные предметы в пределах меньшего поля зрения, чем изображения на экране кинозала.

Появление на экране цветного кадра, снятого крупным планом, противоречит жизненному опыту, который исходит из того, что увеличенные участки предмета можно видеть лишь на весьма близком от него расстоянии.

Уже через 10—20 сек. рассматривание цветной поверхности вызывает явление цветового утомления глаз, причем цвет теряет в насыщенности. Чем насыщеннее цвет, тем скорее и сильнее он утомляет глаза. Наименьшее зрительное утомление вызывает зеленый цвет, наибольшее — фиолетовый и синий цвета. Утомление становится очень заметным уже при длине планов около 10 м, что соответствует по времени 20 секундам.

Короткие планы вызывают меньшее утомление, однако если таких планов очень много, возникает значительное утомление. Опыт показывает, что если на экран проецируют подряд не свыше 500 различных планов, то утомление зрителей еще находится в допустимых пределах, при большем числе оно становится значительным, особенно если показываются яркие насыщенные цвета и движение объектов в быстром темпе.

Другая причина утомления заключается в низкой яркости экрана. Даже хорошо освещенные киноэкраны обеспечивают яркости изображений, в десятки и сотни раз меньшие тех, которые имеют демонстрируемые предметы в натуре. Когда глазной аппарат человека работает в условиях слабого освещения, способность его к различению цветов сохраняется только в области так называемой центральной ямки желтого пятна глаза, в которой расположены только колбочки, т. е. светочувствительные элементы глаза, хорошо различающие цвета, и которой соответствует угол зрения 2°. Именно в пределах этого углового размера глаз хорошо различает цвета при рассматривании цветных изображений демонстрируемой на экране кинокартины.

Рассматривая экран в условиях недостаточной яркости, зрители инстинктивно стараются расположить глаза так, чтобы видеть цвета, т. е. чтобы элементы цветного изображения попадали на центральную ямку желтого пятна, в пределах угла зрения в 2°. Однако угол, под которым глаз видит экран, изменяется в зависимости от положения зрителя в зале, составляя около 3° для зрителей, сидящих на самых передних рядах, и примерно 12° для зрителей на центральных местах, наиболее удаленных от экрана. Поэтому для того, чтобы осмотреть весь экран, глаза зрителей должны находиться в состоянии непрерывного перемещения, «ощущая» в пределах угла около 2° последовательно всю экранную поверхность, занимаемую цветным изображением. В связи с этим зрители ощущают значительное утомление и головную боль. Указанные явления почти не наблюдаются при рассматривании черно-белых изображений, так как в этом случае угол зрения достигает 40°.

Понятно, что приведенные выше процессы видения, связанные с утомлением зрителей, проявляются тем сильнее, чем ниже яркость экрана.

Следующей причиной утомления является нерезкость цветного изображения на киноплёнке, обусловленная методом съемки и типом примененного съемочного объектива. Неприятное впечатление, производимое нечетким цветным изображением, объясняется тем, что нерезко заснятый задний план дает цветные пятна, и глаз отвлекается от переднего плана, заснятого резко. Внимание зрителя рассеивается: он рассматривает резкие изображения переднего плана и одновременно пытается воссоздать картину, рисуемую цветными пятнами заднего нерезкого плана. Глаза зрителя воспринимают нерезкость изображения как искажение, противоречащее нашему жизненному опыту, когда наблюдатель, вследствие аккомодации зрения, получает резкие изображения переднего и заднего планов.

В этом отношении восприятие цветных кинофильмов резко отличается от восприятия черно-белых, так как цветные изображения зритель рассматривает не в некоторых сюжетно важных «точках», а по всему полю. При этом глаз требует, как и в живописи, одинаковой резкости всех попадающих в поле зрения предметов.

В то же время в черно-белых фильмах, дающих условное (без цветов) изображение предметов, нерезкость изображения позволяет придавать переднему плану большую рельефность и пластичность, обращать внимание на сюжетно важную часть кадра, причем одноцветный серый фон нерезкого заднего изображения мало ощущается зрителем.

Следует отметить и другую причину неприемлемости нерезких планов в цветном кинофильме. Дело в том, что цветной кинематограф реалистичнее, чем черно-белый, где объекты съемки и особенно актер представлялись зрителю в виде условных «серых теней». Человеческий глаз кинозрителя привык рассматривать эти «условные» изображения на экране и обращать внимание на резкие его элементы. В цветном же кинофильме всякая нерезкость изображения кажется зрителю неестественной, противоречащей обычному процессу видения предметов в природе.

Рассматривая вопрос о нерезкости заднего фона цветных изображений, следует отметить, что и одновременный цветовой контраст (см. выше) в этих условиях проявляется более резко. Если имеется резкая граница между передним и задним планом, то влияние цвета фона на цвета находящегося на нем предметов заметно уменьшается и искажений цветопередачи наблюдается меньше.



Наконец, качания цветных изображений, наблюдаемые на экране при демонстрации кинокартин и обусловленные особенностями проекционной аппаратуры, вызывают у зрителей при просмотре цветных фильмов большее утомление, чем при просмотре черно-белых.

#### ЛИТЕРАТУРА

- С. В. Кравков. Глаз и его работа. Изд. АН СССР, 1950.  
С. В. Кравков. Цветное зрение. Изд. АН СССР, 1951.  
Е. М. Голдовский. Демонстрация цветных кинокартин. Госкиноиздат, 1949.  
Сборник. Техника кинопроекции, под ред. Е. М. Голдовского, гл. VIII «Особенности демонстрации цветных кинокартин». Госкиноиздат, 1950.

407

#### *Часть вторая*

### **ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ**

### **ЗВУКА**



П. Г. ТАГЕР

### ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Модуляторами света или световыми реле в широком смысле этого понятия называются приборы, при помощи которых можно воздействовать на величину или направление светового потока видимого, ультрафиолетового или инфракрасного.

Успехи многих отраслей современной техники в значительной мере обусловлены развитием модуляторов света. В качестве таких отраслей техники, развитие которых стало возможным лишь после того, как модуляторы света прошли определенную стадию развития, можно указать на телефотографию, звуковое кино и телевидение. Модуляторы света в различных сложных схемах часто являются элементом, соседним со светочувствительными фотографическими материалами: в этих случаях свойства фотографических материалов должны сочетаться со свойствами модулятора света.

Модуляторы света, основанные на самых разнообразных принципах и оформленные конструктивно самым различным образом, имеют широчайшие применения при научных исследованиях. Любой прибор с фотографической регистрацией содержит в качестве одного из необходимых звеньев модулятор света. Модуляторы света позволяют изучать и кратковременные процессы и длительные. На флюоресцирующем экранчике электронно-лучевой трубки можно получить осциллограмму электрических процессов, длящихся стомиллионные доли секунды; с другой стороны, использование зеркального гальванометра в сочетании с пишущим механизмом, продвигающим светочувствительную фотобумагу, дает возможность получить регистрацию, продолжающуюся непрерывно в течение суток. Такие устройства применяются, например, в сейсмографах.

Нельзя представить себе современную электротехнику без модуляторов света, служащих для изучения явлений, происходящих в электрических цепях: современный многолучевой осциллограф, электронный или электродинамический, является тем «глазом», который позволяет «видеть» процессы, происходящие в изучаемых цепях.

Модуляторы света являются также неотъемлемыми приборами в медицине: они применяются в диагностических аппаратах при сердечных и других заболеваниях (например, в электрокардиографах).

Таким образом, даже из немногочисленных приведенных примеров ясно, какое широкое распространение имеют модуляторы света в науке и технике и как ныне велико их значение. Разумеется число примеров использования модуляторов света можно было бы значительно умножить.



В зависимости от фактора, воздействующего на величину светового потока, можно все модуляторы света разделить на классы. Так, модуляторы света могут быть акустическими, механическими, электрическими, магнитными и т. д.

В акустическом модуляторе света на величину или направление светового потока непосредственно воздействуют акустические колебания. Акустический модулятор света может быть осуществлен различными способами. Можно, например, при помощи одного или нескольких рычажков соединить центр круглой мембраны с маленьким зеркальцем, поворачивающимся около какой-либо оси. При падении на мембрану акустических колебаний начнут колебаться рычажки и соединенное с ним зеркальце, которое изменит направление отраженных от него световых лучей. Собирая отраженные световые лучи на движущуюся светочувствительную бумагу, мы получим на ней фотографическую запись звука. Впервые такое устройство было предложено в России более 60 лет назад жителем города Юрьева доктором медицины А. Виксдемским [1].

Акустическим модулятором света является также манометрическое пламя, которое можно получить, заставив светильный газ выходить из какой-либо камеры через трубку малого диаметра. Одна из стенок этой камеры должна быть выполнена в виде мембраны или легкой перепонки. Зажигая газ, выходящий из трубки, и заставляя падать на мембрану какие-либо звуки, мы увидим, что длина газового пламени будет соответствовать мгновенным давлениям внутри камеры. Таким образом, длина пламени, а тем самым и сила света будут модулироваться непосредственно акустическими колебаниями. Разумеется, приведенными двумя примерами не исчерпываются все акустические модуляторы света.

Характерным примером механического модулятора света может служить фонограмма, воспроизводимая в звуковом кино. В данном случае благодаря движению фонограммы модулируется световой поток постоянного источника света. Впервые такой модулятор света, т. е. устройство для воспроизведения фотографической звукозаписи при помощи фотоэлемента, был предложен студентом Московского технического училища И. Поляновым [2, 3].

Механическим модулятором света может быть также вращающийся диск или движущаяся рейка, имеющие какие-либо зубцы и впадины, закрывающие и открывающие доступ падающему на них световому потоку. Такая оптическая сирена часто применяется на передатчике телефотографии для наложения несущей частоты на видеосигналы. Оптической сиреной является также вращающееся зубчатое колесо, впервые примененное 100 лет назад Физо [4] в опыте для определения скорости света.

Однако модуляторами света, наиболее часто применяемыми на практике, являются электрические и магнитные модуляторы. Так как в дальнейшем мы ограничимся только электрическими и магнитными модуляторами света, то под термином «модулятор света» мы будем всегда подразумевать только эти классы.

Известные ныне модуляторы света работают на основе самых разнообразных физических явлений. Способы использования этих явлений также весьма многочисленны. Наконец, весьма разнообразны технические применения модуляторов света, влияющие на их конструкцию. Однако, несмотря на эту многосторонность, все же возможно классифицировать все существующие модуляторы света. Следует отметить, что такая классификация была сделана и раньше [5], но в связи со значительным прогрессом в этой области возникла необходимость пересмотреть и уточнить ее. Кроме того, некоторые свойства модуляторов света, которые

раньше не придавали никакого значения, ныне стали весьма существенными; описание этих свойств является одной из целей данного сообщения.

Все модуляторы света, как показано на рис. 1, можно разделить на две группы с точки зрения воздействия этих модуляторов света на световой поток. К первой группе относятся модуляторы, которые лишь модулируют световой поток, идущий от постороннего, постоянного источника света. Ко второй группе относятся модуляторы, которые сами являются модулируемыми источниками света.

По способу воздействия на световой поток каждая из названных групп модуляторов света может быть разделена на две подгруппы. К нечетным подгруппам могут быть причислены те модуляторы света, в которых направление выходящего из них светового потока не изменяется; это модуляторы, изменяющие плотность светового потока, и модуляторы с изменяющейся яркостью светящегося тела. К четным подгруппам могут быть причислены модуляторы, изменяющие геометрические размеры или направление распространения светового потока, а также модуляторы с изменяющимися размерами или положением светящегося тела.

В каждой из четырех подгрупп перечислены принципы, на основе которых могут быть построены модуляторы света. Количество различных модуляторов света, если учесть возможные варианты их применения, чрезвычайно велико и в настоящее время достигает многих сотен. Варианты использования тех или иных физических явлений для построения различных модуляторов света еще больше увеличивают их количество.

Наибольшее количество вариантов известно для тех модуляторов света, в которых используются различные электромагнитные или электродинамические устройства. Значительное количество вариантов предложенных и осуществленных модуляторов света основано на использовании двойного лучепреломления в диэлектриках, находящихся в электрическом поле (электрооптическое явление Керра). Однако в связи с развитием телевидения и техники осциллографирования, а в последнее время — звукового кино и телефотографии намечается тенденция все более широкого использования электронных модуляторов света, вытесняющих другие, использовавшиеся раньше. При этом под электронными модуляторами света в подавляющем большинстве случаев следует подразумевать электронно-лучевые трубки, использующие явление флуоресценции под действием электронной бомбардировки. Лишь в отдельных, исключительных случаях электронным модулятором света ныне может быть электронно-лучевая трубка с косвенной модуляцией.

Некоторые физические явления хотя принципиально и могут быть использованы для построения модуляторов света, тем не менее практически не применяются. К таким явлениям относятся расщепление спектральных линий в электрическом поле (явление Штарка) и расщепление спектральных линий в магнитном поле (явление Зеемана).

Естественно, что в различных областях применения модуляторов света те или иные их преимущества и недостатки оказываются решающими при выборе соответствующего типа модулятора, и, конечно, нельзя дать общих рекомендаций, пригодных во всех случаях, так как слишком разнообразны условия работы и назначения модуляторов света. Однако можно сформулировать главные свойства, характеризующие модуляторы света, на основании которых следует выбирать их для данных конкретных условий, учитывая, что иногда какое-либо свойство модулятора, решающее для данных условий применения, будет второстепенным или вовсе не имеющим значения в других условиях.



прожектора в обычной электронно-лучевой трубке. В числе прочих электродов пишущий электронный прожектор имеет, как и обычно, две пары взаимно перпендикулярных отклоняющих пластин (второстепенные элементы, например, подогрев катода на этом и на последующих чертежах не показаны). При помощи сфокусированного электронного луча

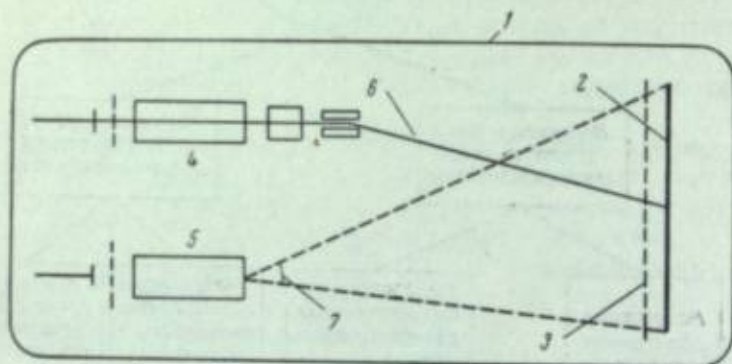


Рис. 2. Схематическое устройство «запоминающей» электронно-лучевой трубки.

1 — баллон; 2 — экранчик; 3 — коллектор; 4 и 5 — электронные прожекторы; 6 — пишущий луч; 7 — поддерживающее облучение.

пишущий электронный прожектор прочерчивает на флюоресцирующем экранчике кривую того процесса, который подлежит изучению. В случае, если изучаемый процесс происходит однократно (а не повторяется периодически) и если он по времени протекает достаточно быстро, то не представляется возможным визу-

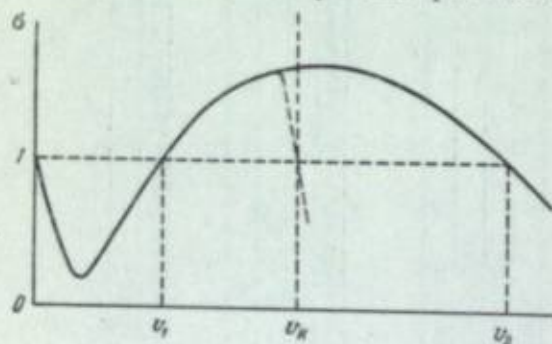


Рис. 3. Коэффициент  $\sigma$  вторичной эмиссии экранчика в зависимости от его потенциала.

ально рассмотреть во всех подробностях быстро промелькнувшую на экранчике слабо светящуюся кривую. В этом случае приходит на помощь «запоминающая» электронно-лучевая трубка, позволяющая на своем экранчике сохранить на длительное время визуальную видимую кривую.

Второй электронный прожектор 5, который будем называть поддерживающим, не имеет отклоняющих электродов и, кроме того, не образует сфокусированного электронного луча. Поддерживающий электронный прожектор устроен таким образом, что он одновременно облучает электронами всю поверхность флюоресцирующего экранчика. Коллектор, находящийся перед экранчиком, имеет положительный потенциал относительно катода поддерживающего электронного прожектора 5.

Рассмотрим теперь, к каким значениям будут стремиться потенциалы отдельных мест экранчика, находящегося под воздействием облучения поддерживающим электронным прожектором 5. Известно, что когда потенциал экранчика лишь незначительно выше потенциала катода облучающего его электронного прожектора, то коэффициент вторичной эмиссии экранчика меньше единицы (рис. 3). При некотором потенциале  $v_1$

предполагим, что потенциал экранчика был выше потенциала  $v_n$  коллектора. Потенциал коллектора всегда выбирают так, чтобы имело место соотношение  $v_1 < v_n < v_2$ . При данном условии коэффициент вторичной эмиссии экранчика больше единицы (рис. 3); по этой причине экранчик будет терять большее количество электронов (улетающих на коллектор), чем он их получает посредством облучения поддерживающим прожектором. В результате потенциал экранчика начнет понижаться (стрелки  $b$  на рис. 4), пока не сделается равным потенциалу  $v_n$  коллектора. Однако, несмотря на то, что коэффициент вторичной эмиссии экранчика больше единицы и в том случае, когда его потенциал больше (меньше, чем  $v_n$ ) не будет происходить. Дело в том, что значительного превышения потенциала экранчика по сравнению с потенциалом коллектора не может быть потому, что в этом случае вторичные электроны возвращались бы назад на экранчик (как на электрод с наиболее высоким потенциалом), содействуя тем самым, вместе с первичными электронами, снижению его потенциала. Таким образом, при данных начальных условиях равновесное состояние потенциала экранчика наступит тогда, когда потенциал экранчика сделается приблизительно равным потенциалу коллектора.

Если потенциал экранчика меньше  $v_1$ , то облучающие его электроны поддерживающего электронного прожектора будут стремиться еще более понизить этот потенциал, потому что при этих условиях коэффициент вторичной эмиссии меньше единицы и, следовательно, экранчик будет получать большее количество электронов, чем он их теряет. То обстоятельство, что экранчик в этом случае получает большее количество электронов, чем он их теряет, условно обозначено на рис. 4 отрицательным значением тока экранчика. Равновесное состояние потенциала экранчика наступит тогда, когда потенциал экранчика сделается приблизительно равным потенциалу катода поддерживающего электронного прожектора. Тенденция изменения тока экранчика и его потенциала при этих обстоятельствах условно обозначена на рис. 4 стрелками  $a$ .

Предположим теперь, что потенциал экранчика больше  $v_1$ , но меньше потенциала  $v_n$  коллектора. Потенциал коллектора всегда выбирают так, чтобы имело место соотношение  $v_1 < v_n < v_2$ . При данном условии коэффициент вторичной эмиссии экранчика больше единицы (рис. 3); по этой причине экранчик будет терять большее количество электронов (улетающих на коллектор), чем он их получает посредством облучения поддерживающим прожектором. В результате потенциал экранчика начнет понижаться (стрелки  $b$  на рис. 4), пока не сделается равным потенциалу  $v_n$  коллектора. Однако, несмотря на то, что коэффициент вторичной эмиссии экранчика больше единицы и в том случае, когда его потенциал больше (меньше, чем  $v_n$ ) не будет происходить. Дело в том, что значительного превышения потенциала экранчика по сравнению с потенциалом коллектора не может быть потому, что в этом случае вторичные электроны возвращались бы назад на экранчик (как на электрод с наиболее высоким потенциалом), содействуя тем самым, вместе с первичными электронами, снижению его потенциала. Таким образом, при данных начальных условиях равновесное состояние потенциала экранчика наступит тогда, когда потенциал экранчика сделается приблизительно равным потенциалу коллектора.

Наконец, предположим, что вначале потенциал экранчика был выше потенциала  $v_n$  коллектора. В этом случае все вторичные электроны, выбитые из экранчика под действием облучения поддерживающим электронным прожектором, будут возвращаться обратно на экранчик и в результате обеих причин (облучение первичными электронами и возвращение вторичных электронов) потенциал экранчика начнет понижаться (стрелки  $c$  на рис. 4). Легко видеть, что при данных начальных условиях

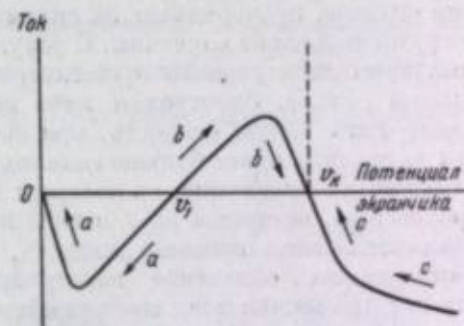


Рис. 4. Ток на экранчик в зависимости от потенциала.



Главнейшие условия и свойства, характеризующие модулятор света, следующие:

1. Частотная характеристика модулятора света во всем диапазоне подлежащих передаче частот. Большой частью лучшим будет такой модулятор, частотная характеристика которого прямолинейна.
2. Амплитудная характеристика модулятора света, т. е. зависимость величины промодулированного светового потока от подводимого к модулятору электрического тока или напряжения. Во многих случаях лучшим будет такой модулятор света, амплитудная характеристика которого прямолинейна.
3. Абсолютное значение наибольшей величины промодулированного светового потока. Ясно, что при всех прочих равных условиях предпочтение должно быть отдано такому модулятору света, у которого эта величина наибольшая при всех прочих равных условиях.
4. Возможность заранее вычислять и экспериментально определить режим работы модулятора света в различных условиях.
5. Устойчивость работы модулятора света.
6. Прочность модулятора света (он не должен разрушаться и выходить из строя при перегрузках).
7. Глубина световой модуляции: отношение абсолютного значения наибольшего промодулированного светового потока к наименьшему при изменении электрического тока или напряжения от соответствующего максимума до соответствующего минимума.
8. Свойство модулятора света отображать в течение некоторого промежутка времени ряд последовательных электрических сигналов («запоминающие» модуляторы света).
9. Электрическая мощность, напряжение и ток, подводимые к модулятору света для получения заданной глубины световой модуляции и заданной величины светового потока. Наибольшей чувствительностью обладает тот модулятор света, у которого эти электрические параметры минимальны.
10. Простота регулировки и обслуживания.
11. Флуктуации.

Иногда имеют значение второстепенные условия, которых мы здесь касаться не будем. Перечисленные выше свойства и условия работы модуляторов света ясны сами по себе и не нуждаются в дополнительных разъяснениях, кроме свойства «запоминания», на котором следует остановиться подробнее.

«Запоминающие» модуляторы света в настоящее время имеют очень важное значение во многих областях науки и техники. В качестве примера может быть названа трубка кругового обзора, применяемая в радиолокации. Такая трубка представляет собой электронно-лучевую трубку, флюоресцирующий экранчик которой обладает большим послесвечением (порядка 1 мин.), что и обеспечивает свойство «запоминания» и получение слитного изображения на ее экранчике, несмотря на медленную развертку.

Другим модулятором света того же типа, также имеющим большое научное и техническое значение, являются «запоминающие» электронно-лучевые трубки. Принципиальное устройство такой трубки показано на рис. 2 и состоит в следующем [6]. В общем баллоне 1 имеется не один электронный прожектор, а два. Кроме того, перед экранчиком 2 трубки, покрытым люминофором, установлен дополнительный электрод — коллектор 3, имеющий вид сетки. Один электронный прожектор 4, который в дальнейшем будем называть пишущим, ничем не отличается от электронного

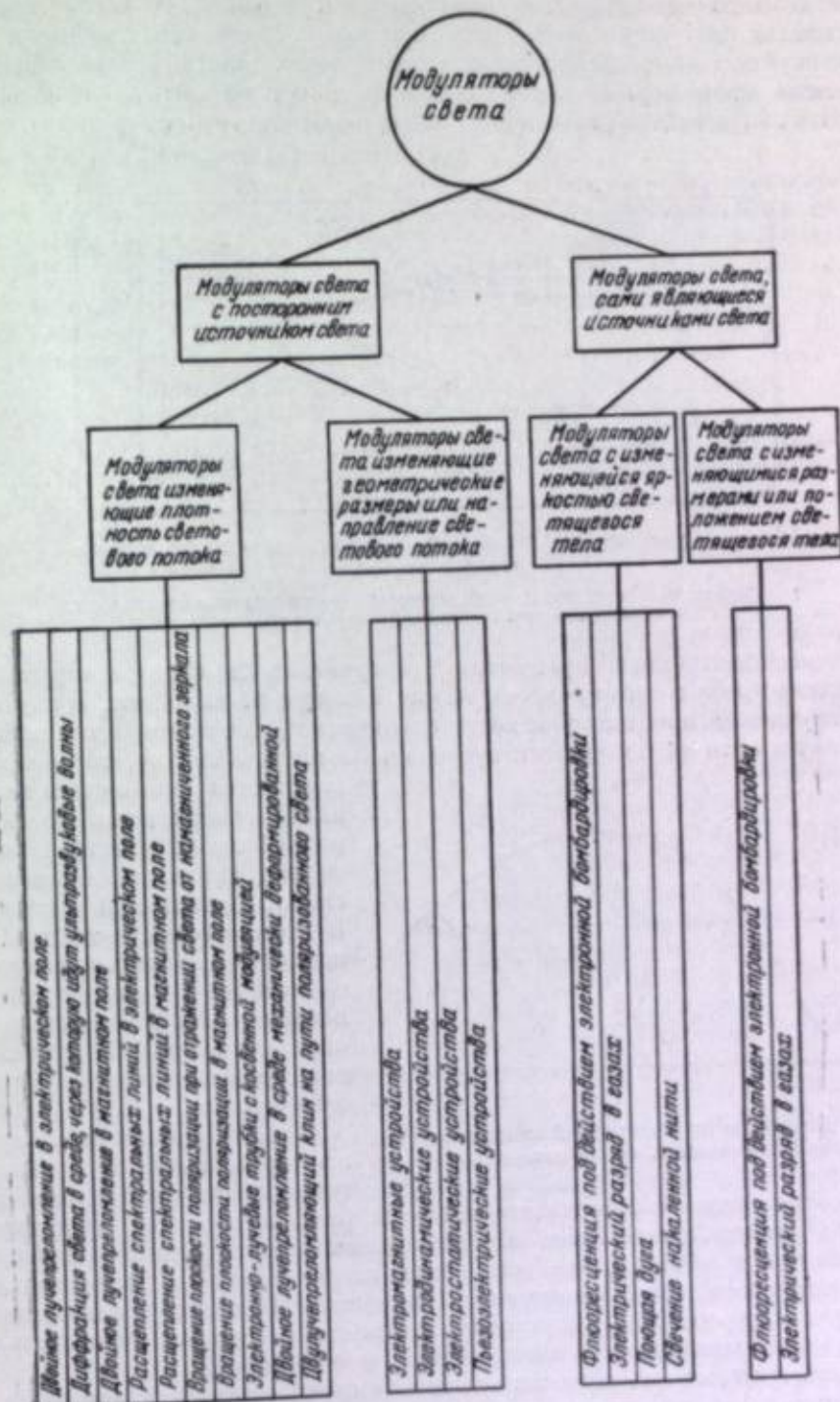


Рис. 1. Классификация модуляторов света.



равновесное состояние потенциала экранчика наступит тогда, когда потенциал экранчика делается приблизительно равным потенциалу коллектора.

Итак мы видим, что в зависимости от начальных условий потенциал экранчика под действием облучения поддерживающим электронным прожектором может сделаться равным одному из двух равновесных значений потенциала: потенциал экранчика стремится либо к потенциалу коллектора, либо к потенциалу катода поддерживающего электронного прожектора.

Теперь становится ясным принцип действия «запоминающей» электронно-лучевой трубки. Пишущий электронный прожектор 4 (рис. 2), как уже сказано, прочерчивает на экранчике трубки кривую того процесса, который подлежит изучению. В результате этого после прохождения луча пишущего электронного прожектора на экранчике образуется потенциальный рельеф. Электронам луча пишущего электронного прожектора можно дать такую скорость, при которой коэффициент вторичной эмиссии экранчика будет больше единицы. Легко видеть, что в этом случае в тех местах экранчика, по которым прошел луч пишущего электронного прожектора, останется след в виде положительных зарядов. Если потенциал этих мест окажется выше  $v_1$ , то, в соответствии с уже изложенным раньше, облучение поддерживающим электронным прожектором доведет потенциал этих мест приблизительно до потенциала  $v_k$  коллектора, и потенциал этих мест экранчика будет сохранять это значение неопределенно длительное время.

Так как экранчик покрыт люминофором, то одновременно будет наблюдаться свечение экранчика. Однако легко видеть, что под действием облучения поддерживающим электронным прожектором 5 светиться будет не весь экранчик, а только те его места, потенциал которых выше потенциала катода этого прожектора.

Таким образом, мы видим, что «запоминающая» электронно-лучевая трубка представляет собой модулятор света, сохраняющий на своем экранчике в течение неопределенно длительного времени светящуюся кривую, являющуюся отображением электрического процесса, воздействию которого этот модулятор света был подвергнут.

Дифракционный модулятор света также обладает свойством «запоминания», однако характер «запоминания» здесь иной. Дифракционный модулятор света, как известно, представляет собой сосуд 1, наполненный какой-либо жидкостью (рис. 5), по которой идут ультразвуковые волны. Источником ультразвуковых колебаний служит кварцевая пластинка 2, к металлическим обкладкам 3 и 4 которой подведены колебания от высокочастотного генератора. Звукопоглощающая стенка 5 обеспечивает отсутствие отраженных ультразвуковых волн, а следовательно, и стоячих ультразвуковых волн в жидкости. Ультразвуковые волны создают в жидкости неоднородную слоистую структуру — пространственную решетку. Эта пространственная решетка вызывает дифракцию света, проходящего через ванночку 1 в направлении стрелки 6, вследствие чего через оптическую систему (не показанную на чертеже) проходит большее или меньшее количество света в зависимости от амплитуды ультразвуковых волн.

Дифракционный модулятор света предложен академиком Л. И. Мандельштамом, Н. Д. Папалекси и Г. С. Ландсбергом и впервые в СССР осуществлен В. К. Харизоменовым [7].

В дифракционном модуляторе света «запоминание» быстро следующих друг за другом электрических сигналов осуществляется следующим образом. Прежде всего эти сигналы модулируют генератор, питающий квар-

цевую пластинку, вследствие чего в жидкости распространяются модулированные по амплитуде ультразвуковые колебания; это условно показано на рис. 5 линиями различной толщины. Пусть  $v$  — скорость распространения ультразвука в жидкости и  $n$  — частота колебаний кварцевой пластинки. В этом случае длина ультразвуковой волны в жидкости будет  $\lambda = \frac{v}{n}$ . Пусть генератор, возбуждающий кварцевую пластинку, модулируется  $N$  сигналами в секунду. Тогда один модулирующий сигнал будет переноситься  $\frac{n}{N}$  ультразвуковыми волнами в жидкости и будет занимать

в ванночке длину  $\Lambda = \frac{v}{N}$ , считая в направлении распространения ультразвуковых волн. Если (в этом же направлении)  $a$  — длина ванночки, то очевидно, что в ней расположатся  $\frac{an}{v}$  ультразвуковых волн, несущих  $\frac{aN}{v}$  модулирующих их сигналов.

Примем для примера длину ванночки  $a = 6$  см, частоту генератора  $n = 10^7$  герц, число модулирующих сигналов в секунду  $N = 10^6$  и скорость распространения ультразвуковых волн в жидкости  $v = 1,3 \cdot 10^5$  см/сек. В этом случае на всей длине ванночки разместятся  $\frac{an}{v} = (6 \cdot 10^7) : (1,3 \cdot 10^5) = 462$  ультразвуковых волн. Каждые  $\frac{n}{N} = 10^7 : 10^6 = 10$  ультразвуковых волн несут один модулирующий сигнал, а потому на всей длине ванночки расположатся ультразвуковые волны, несущие приблизительно 46 модулирующих сигналов.

Изображение модулированных ультразвуковых волн в жидкости можно отбросить на экран при помощи соответствующей оптической системы. Если  $u$  — увеличение этой оптической системы, то изображение модулирующих ультразвуковых волн будет перемещаться по экрану со скоростью  $uv$ . Однако при помощи оптической развертки легко остановить на экране эту движущуюся картину, и тогда на экране мы сразу увидим неподвижное изображение  $\frac{aN}{v}$  сигналов (т. е. 46 сигналов в нашем числовом примере). Итак, дифракционный модулятор света обладает длительностью «запоминания»  $\frac{a}{v}$ , т. е.  $6 : (1,3 \cdot 10^5) = 4,62 \cdot 10^{-5}$  сек. в нашем числовом примере.

Приведенными примерами не исчерпываются все «запоминающие» модуляторы света. Есть еще целая группа «запоминающих» модуляторов света, к которым мы еще вернемся.

Дадим краткую характеристику некоторых модуляторов света в соответствии с их классификацией, показанной на рис. 1.

Весьма большой интерес представляет модулятор света, основанный на явлении тройного лучепреломления в электрическом поле.

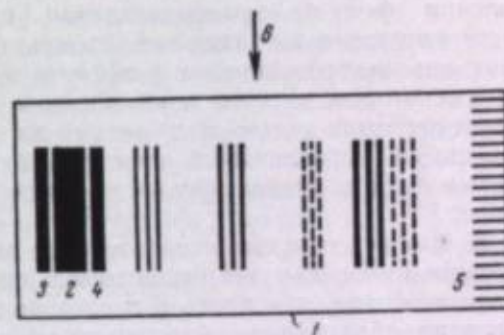


Рис. 5. Модулированные ультразвуковые волны в жидкости дифракционного модулятора света. 1 — прозрачный сосуд; 2 — колеблющаяся кварцевая пластинка; 3 и 4 — электроды; 5 — стенка, поглощающая ультразвуковые волны; 6 — свет.



Еще Ломоносов ожидал, что электризации прозрачных сред должны изменить их оптические свойства. Ломоносов писал [8]: «Надо сделать опыт, будет ли луч света иначе преломляться в наэлектризованном стекле и воде. Однако предвидение Ломоносова было экспериментально подтверждено только более чем через 100 лет: в 1875 г. Керр обнаружил явление двойного лучепреломления в диэлектриках, находящихся в электрическом поле. Это физическое явление получило наибольшее практическое применение в начале 30-х годов нашего века: оно было использовано в одном из модуляторов света для звукового кино и телефотографии. Было предложено и осуществлено не только много равнообразных конструкций, но и много методов использования этого явления, причем были проведены большие научно-исследовательские работы, ограниченные лишь ссылкой на литературу [9, 10], содержащую также библиографию по этому вопросу».

Одним из крупнейших достоинств модулятора света, основанного на явлении двойного лучепреломления в диэлектриках, находящихся в электрическом поле, является его практически полная безынерционность. Приоритет «электронно-оптического» эффекта принадлежит Нордону [10], а для некоторых диапазонов даже Нордону [10] сент. 1877 г. Он сообщил, что изменение светового потока, выходящего из модулятора света, под действием переменного электрического напряжения в диапазоне частот от 1 до 100 тысяч колебаний в секунду, является весьма значительным.

Несомненно перспективным использованием модулятора света, основанного на явлении двойного лучепреломления в диэлектриках, находящихся в электрическом поле, является его использование в качестве основы для создания «электронно-оптических» приборов, обладающих значительными преимуществами по сравнению с «механическими» приборами. Сравнительно легко могут быть получены «электронно-оптические» лампы и специальные устройства «электронно-оптического» типа, позволяющие легко промодулировать значительные световые потоки. Существенным обстоятельством, так же распространяющимся на приборы, основанные на данном модуляторе света, является отсутствие инерционности.

Денисов [11] сообщил об изготовлении им электронно-оптического затвора, позволяющего получать фотографические снимки с экспозицией  $10^{-7}$  сек. и световым потоком между 0,1 и 100 св. ед.

Данным явлением плоскости поляризации в магнитном поле (явление Фарадея) практически воспользовался Н. Н. Собснев [12] для получения фотоэлектрических фотографий проволоки, перегоравшей под действием светового луча. Однако широкое распространение эти модуляторы света не получили в связи со значительными трудностями создания достаточно сильных магнитных полей. Полной же причине не используется для построения модулятора света явление двойного лучепреломления в диэлектриках, находящихся в магнитном поле (явление Котона и Мутона). Только так же не нашли широкого практического применения плоские кристаллы поляризации при отражении света от намагниченного зеркала (явление Керра).

Особый интерес представляет довольно обширная группа модуляторов света (в большинстве практически не осуществленных), известных под общим названием «электронно-лучевых трубок с косвенной модуляцией». Сущность действия этих модуляторов света состоит в следующем. Электронно-лучевая трубка снабжается специальным экранчиком, оптическая прозрачность которого зависит от силы тока в электронном луче. Модули-

руя сила тока в электронном луче осуществляется обычным способом, например воздействием на управляющий электрод электронного прожектора. Обычным способом производится и развертывание электронного луча по экранчику. Так как оптическая прозрачность экранчика зависит от силы тока электронного луча и так как одновременно производится модулирование этого луча и его развертывание по экранчику, то на последнем образуется изображение принимаемого электрического процесса. Получившееся на экранчике изображение освещается мощным посторонним постоянным источником света и при помощи той или иной оптической системы отбрасывается на экран.

Повидимому, наиболее перспективным применением электронно-лучевых трубок с косвенной модуляцией является использование их для получения телевизионных изображений на большом экране. Устройства, использующие модуляторы для данной цели, известны под общим названием диазисоров.

Большинство электронно-лучевых трубок с косвенной модуляцией относится к числу «запоминающих» модуляторов света.

Получение оптической прозрачности экранчика, зависящей от силы тока электронного луча, основано на разнообразных свойствах электронного луча (тепловых, электростатических и т. д.). Еще в 1925 г. А. А. Чернышев [13] предложил выполнять экранчик в виде отдельных модуляторных конденсаторов, действие которых основано на явлении двойного лучепреломления в диэлектриках, находящихся в электрическом поле. В зависимости от силы тока в электронном луче каждый модуляторный конденсатор должен заряжаться до того или иного потенциала. «Запоминание» осуществляется благодаря тому, что разность потенциалов между электродами модуляторного конденсатора сохраняется в течение некоторого времени, зависящего от внутреннего сопротивления (утечки) этого конденсатора. Изобретение Чернышева делает его основоположником всех довольно многочисленных и разнообразных в настоящее время «запоминающих» модуляторов света.

В. Г. Денисов [14] предложил делать экранчик электронно-лучевой трубки с косвенной модуляцией в виде пластинки, покрытой легко летучими металлами. Из-за теплового действия электронного луча металл в каждом месте экранчика испаряется в большей или меньшей степени, вследствие чего изменяется его оптическая прозрачность.

На прозрачной пластинке, например стеклянной, развертываемый и модулируемый электронный луч электронно-лучевой трубки с косвенной модуляцией образует потенциальный рельеф. В 1936 г. студент Московского университета Лубны-Герцык предложил и продемонстрировал превращение потенциального рельефа в переменные оптические прозрачности путем посыпания мелким порошком, прилипающим благодаря электростатическим силам в большем или меньшем количестве к различным местам пластинки.

Кроме указанных выше, были сделаны еще другие весьма многочисленные предложения по созданию модуляторов света в виде электронно-лучевых трубок с косвенной модуляцией. Перечислим наиболее интересные из них. Под действием электрических зарядов, несомых электронным лучом, должна изменяться оптическая прозрачность некоторых кристаллов («Скиатрон»). В другом предложении используется то обстоятельство, что кривизна поверхности жидкой пленки (например, из масла), нанесенной на плоскую прозрачную пластинку, будет изменяться (при надлежащем расположении дополнительных электродов) в зависимости от величины электрического заряда, принесенного электронным лучом. Изме-



нения кривизны поверхности жидкой пленки можно преобразовать в изменения прозрачности чисто оптическими методами. Электрические заряды, несомые электронным лучом, можно преобразовать в изменения оптических прозрачностей, если каждый элемент экранчика выполнить в виде маленького электроскопа, листки которого расходятся в той или иной мере в зависимости от полученного от электронного луча электрического заряда. Тепловое действие электронного луча может быть пре-

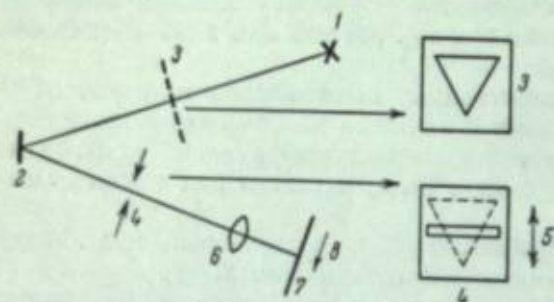


Рис. 6. Оптическая система с электромеханическим модулятором света для фотографической записи звука.

1 — источник света; 2 — зеркальце; 3 — диафрагма; 4 — механическая щель; 5 — направление колебания; 6 — объектив; 7 — светочувствительная пленка; 8 — направление ее движения

торов, по существу, основано на том общем принципе, что электромеханическое устройство вызывает перемещения какого-либо элемента оптической системы. Вследствие этого изменяется направление распространения или геометрические размеры светового потока, пропускаемого всей

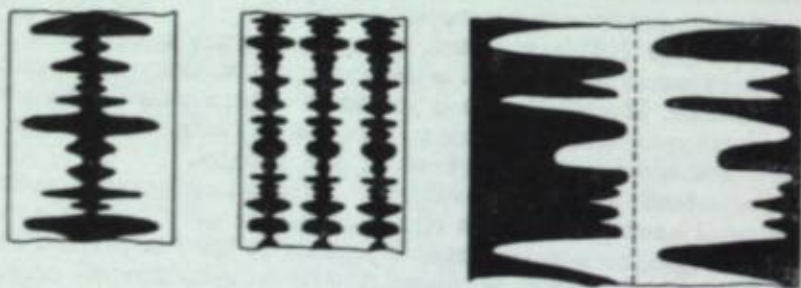


Рис. 7. Различные формы фотографической записи звуков.

оптической системой в целом. Чаще всего перемещаемым элементом оптической системы бывает непрозрачная заслонка или зеркальце, поворачиваемое около оси.

Модуляторы света рассматриваемой подгруппы имеют очень большое практическое значение; в частности, модуляторы света этой подгруппы применяются в настоящее время в звуковой кинематографии.

Принципиальное устройство оптической системы с использованием электромеханического модулятора света для фотографической записи звука показано на рис. 6. Источником света служит маловольтная лампочка накаливания. Изображение источника света отбрасывается конденсором на зеркальце 2 электромеханического модулятора света. Между

источником света и зеркальцем расположена маска (фигурная диафрагма) 3. Изображение диафрагмы 3 при помощи объектива образуется в плоскости механической щели 4. При колебаниях зеркальца 2 (вокруг оси, перпендикулярной к плоскости чертежа) изображение освещенного выреза в диафрагме 3 также придет в колебания в направлении, указанном стрелкой 5, перпендикулярном к длине механической щели 4; вследствие этого будет изменяться длина освещенной части механической щели. Объектив 6 отбрасывает изображение механической щели 4 на светочувствительную пленку 7, равномерно движущуюся в направлении стрелки 8. При вырезе в маске 3 в форме равнобедренного треугольника получается симметричная двусторонняя поперечная фонограмма, показанная слева на рис. 7. В зависимости от вида и количества вырезов в маске 3 будут получаться различные формы фотографической записи звука. Так, например, если в маске 3 прорезано несколько равнобедренных треугольников, расположенных рядом, то получится многозубчатая фонограмма (средняя часть рис. 7); при вырезе в маске 3, состоящем из двух прямоугольных треугольников с параллельными гипотенузами и вершинами, обращенными в противоположные стороны, образуется противофазная поперечная фонограмма класса «А» (правая часть рис. 7), и т. д.

Среди модуляторов света второй группы (рис. 1) особое значение имеют электронно-лучевые трубки. Трудно назвать какую-либо область науки и техники, в которой в том или ином виде не применяются электронно-лучевые трубки. На применении электронно-лучевых трубок, как модуляторов света, основана целая область техники — телевидение. Основоположником электронного телевидения является петербургский ученый Б. Л. Розинг, впервые в мире предложивший применение электронно-лучевых трубок для телевидения еще в 1907 г. [15]. На рис. 8 показаны чертежи к привилегии Розинга; модулирование интенсивности электронного луча осуществлялось отклоняющими электродами *g* и *G* и диафрагмой *D*, а развертывание по экранчику *P* — катушками *E* и *F*.

Сочетание электронно-лучевых трубок с последними достижениями импульсной техники открывает новые пути развития и совершенствования фотографических методов записи звука для кинематографии. Схема одного из возможных устройств<sup>1</sup> для получения при помощи электронно-лучевой трубки фотографической записи звука в форме противофазной интенсивной фонограммы класса «А» [16] показана на рис. 9. Генератор *I* пилообразных импульсов, частота которого выше наиболее высокой частоты акустических колебаний, образует на флюоресцирующем экранчике 2 электронно-лучевой трубки прямую развертку, которая при помощи объектива 3 фиксируется на светочувствительной пленке 4, равномерно движущейся перпендикулярно к плоскости чертежа. С работой генератора *I* синхронизована и синфазирована работа двух генераторов прямоугольных импульсов 5 и 6, сдвинутых друг относительно друга по фазе на 180°. Режим ламп 7 и 8 установлен таким образом, что отрицательные импульсы генераторов 5 и 6 полностью запирают соответствующую лампу, а положительные импульсы переводят режимы работы этих ламп на средние точки их характеристик. На сетки ламп 7 и 8 воздействует также микрофонный усилитель 9. Когда электронный луч проходит, например, по левой части *A* развертки на экранчике 2, то лампа 7 отперта, а лампа 8 полностью заперта. В это время падение напряжения на анодной нагрузке *II* обусловлено величиной сигнала, получаемого от

<sup>1</sup> После прочтения данного доклада был предложен [17, 18] общий метод получения поперечных фонограмм любых видов при помощи электронно-лучевых трубок.



микрофонного усилителя. Напряжение на нагрузке *П* посредством управляющего электрода воздействует на силу тока электронного луча и тем самым на яркость свечения соответствующей части *A* развертки (увеличивая яркость ее свечения, если сигнал, получаемый от микрофонного усилителя, положительный). Далее, когда электронный луч переходит на

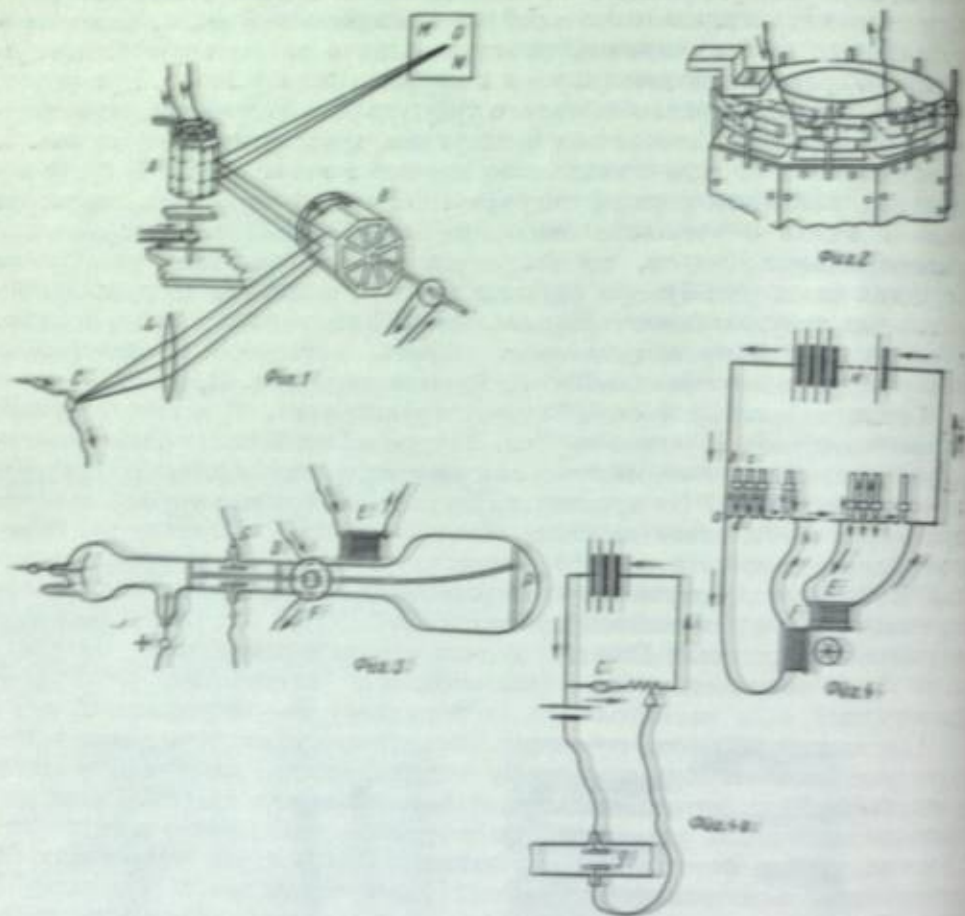


Рис. 8. Чертежи: а — привлекли Розинга.

правую часть *B* развертки, генератор *5* полностью закрывает лампу *7*, а генератор *6* открывает лампу *8*. Это вызывает подведение к сетке лампы *8* сигнала от микрофонного усилителя обратной полярности по сравнению с той, которая подводилась до того к сетке лампы *7* (так как частота записываемых колебаний ниже частоты, с которой работают генераторы *5* и *6*). В этот период времени падение напряжения на анодной нагрузке *П* и потенциал на управляющем электроде будут такими, и следовательно, яркость свечения соответствующей части *B* развертки будет такой. Очевидно, при длительной работе всего устройства в режиме, только что кратко описанном, на светочувствительной пленке *4* получится противоположная интенсивная фонограмма класса «А».

Сочетание электронно-лучевых трубок с ультразвуковой радиотехникой при одновременном использовании фотографического материала с высокой разрешающей способностью и светочувствительностью открыв-

вает новые горизонты перед телефотографией, позволяя осуществлять при документальной передаче фотографий и текста скорости порядка нескольких сотен тысяч слов в минуту. Для того чтобы ясно представить себе эту скорость передачи, достаточно указать, что, например, текст одного тома Большой Советской Энциклопедии можно передать за время порядка одной минуты. Схема такого устройства показана на рис. 10. Передаваемый, предварительно микрофильмированный, материал *1* приво-

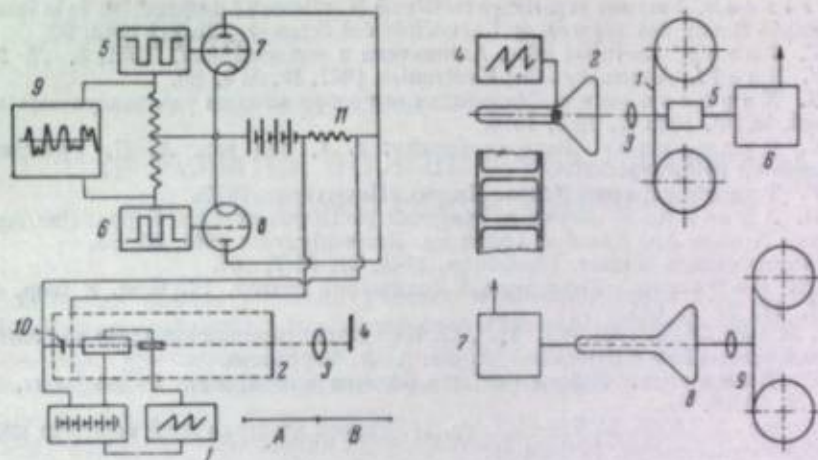


Рис. 9. Схема получения фотографической записи звука в виде противоположной интенсивной фонограммы класса «А» при помощи электронно-лучевой трубки.

1 — генератор; 2 — экранчик; 3 — объектив; 4 — пленка; 5 и 6 — генераторы; 7 и 8 — лампы; 9 — усилитель; 10 — катод; 11 — анодная нагрузка.

Рис. 10. Схема высокоскоростной передачи и приема изображений.

1 — передаваемый материал; 2 — электронно-лучевая трубка; 3 — объектив; 4 — генератор; 5 — фотоэлемент; 6 — передатчик; 7 — приемник; 8 — электронно-лучевая трубка; 9 — светочувствительная пленка.

дится в равномерное движение на передающей станции. Развертка по второму направлению осуществляется электронным и оптическим устройствами *2* и *3*; электронно-лучевая трубка *2* находится под воздействием генератора *4* пилообразных импульсов. Модулированный пленкой *1* световой поток улавливается фотоэлементом *5* и в свою очередь модулирует передатчик *6*. Приемник *7* связан с передатчиком *6* коаксиальным кабелем или радиорелейной линией. Приемник *7* модулирует электронно-лучевую трубку *8*, в которой электронный луч движется синхронно и синфазно с лучом в передающей трубке *2*. Принимаемое изображение получается на равномерно движущейся светочувствительной пленке *9*.

Из числа других модуляторов света второй группы практическое значение имеют те из них, в которых используется свечение, появляющееся при электрическом разряде в газах. Эти модуляторы света применяются в настоящее время главным образом в стробоскопии, а также для фотографирования с короткими экспозициями и для некоторых других целей.

Из изложенного ясно, что модуляторы света имеют очень широкие и разнообразные применения во многих областях науки и техники. Модуляторы света применяются отдельно, однако очень часто они используются в комбинации с фотографическим методом регистрации.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Нем. пат. № 53641, 6.XI 1889, кл. 42; Verfahren zur Herstellung von Phonogrammen. Erben des Dr. med. Adam Wikszemski in Dorpat (Russland).
2. Рус. прив. № 8010, 29.XI 1900, гр. 11; Приспособление для каменитых сопотпадения цена, применяемого к приемному аппарату для фотофона и фотофонографа Н. Полянов.
3. Ам. пат. № 680614, 17.VII 1900; Photophonograph-Photophone or similar device. Joseph Poliakoff.
4. H. Fizeau. Sur une expérience relative à la vitesse de propagation de la lumière. «Compte Rendu des séances de l'Académie des Sciences», 23.VII 1849, 90.
5. П. Г. Тагер. Световые реле. Автоматика и телемеханика, 1941, 6, № 2, 37.
6. A. V. Naeff. A memory tube; Electronics, 1947, 20, № 9, 80.
7. В. К. Харизоменов. Модуляция света при помощи ультразвуковых колебаний. ЖТФ, 1935, 5, № 8, 1518.
8. П. С. Кудрявцев. История физики; т. I, под ред. А. К. Тимирязева, Учгедиз, 1948, стр. 321.
9. П. Г. Тагер. Ячейка Керра. Изд-во «Искусство», 1937.
10. Л. П. Артемова. Изучение неводных растворов методом Керра. Изв. Артил. ордена Ленина Ак. Красной Армии им. Дзержинского; 1941, 35, 85.
11. Electronic camera shutter. Electronics, 1948, 21, № 7, 164.
12. Н. Н. Соболев. Управляемый оптический затвор, Ж. эксп. и теор. физ., 1947, 17, № 7, 655.
13. Пат. № 3499, 28.XI 1925, кл. 21a<sup>2</sup>, 32; Катодный приемник аппарата для электрической телевидения с катодным пучком. А. А. Чернышев.
14. В. Г. Денисов. Работы СФТИ в области телевидения. Радио-фронт, 1938, 14, № 15/16, 55.
15. Рус. прив. № 18076, 25.VII 1907, гр. 11; Способ электрической передачи изображений на расстоянии. В. Розинг.
16. Авт. свид. № 79936, 17.I 1949, кл. 42 g, 9a; Способ записи обесшумленной интенсивной пупшудной фонограммы класса «А» электроно-лучевой трубкой. П. Г. Тагер.
17. Авт. свид. № 89392, 16.I 1950, кл. 42 g, 9a; Способ получения поперечных фонограмм посредством электроно-лучевой трубки. П. Г. Тагер.
18. П. Г. Тагер. Электроно-оптическое устройство для записи звуков. ДАН СССР, 1950, 73, № 6, 1181.

А. М. МЕЛИК-СТЕПАНИН

ПУТИ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АППАРАТУРЫ  
ДЛЯ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ ЗВУКА

Благодаря работам наших ученых и изобретателей П. Г. Тагера и А. Ф. Шорина четверть века назад отечественная техника звукопередачи осуществила фиксацию звуков фотографическим способом. Только после этого удалось разрешить давно занимавшую умы многих изобретателей проблему озвучивания киноэкрана.

С тех пор фотографическая звукозапись прошла длинный путь развития и в настоящее время стала самостоятельной областью науки и техники. Одним из важных разделов этой области является раздел аппаратуры. Данная статья посвящена аппаратуре для фотографической записи звука.

Основными функциями аппарата для фотографической записи звука являются:

- 1) образование пишущего светового штриха, определенным образом расположенного на киноплёнке;
- 2) осуществление модуляции пишущего светового штриха, соответственно токам, поступающим из усилительного устройства;
- 3) осуществление развертки модуляции пишущего светового штриха на равномерно движущейся киноплёнке.

Первая функция выполняется источником света в сочетании с некоторой оптической системой, вторая — модулятором света. Элементы аппаратуры, выполняющие эти две функции, составляют светомодулирующую систему. Третью функцию выполняет лентопротяжный механизм, включающий в себя важнейшее звено — стабилизатор скорости киноплёнки. В данной статье рассматриваются только первые две функции звукозаписывающего аппарата.

Предварительно необходимо сформулировать требования, предъявляемые к световому штриху и качеству модуляции.

К световому пишущему штриху предъявляются следующие требования:

- 1) размеры штриха должны быть точно соблюдены, длинные края его должны быть строго параллельны;
- 2) световой штрих должен быть резко очерчен и переход от освещенного к неосвещенному участку должен происходить резко, в идеальном случае скачком;
- 3) световой штрих должен быть освещен равномерно (белым или монохроматическим светом);
- 4) освещенность светового штриха должна быть возможно максимальной;



5) световой штрих должен правильно располагаться на киноплёнке: его длинные стороны должны быть строго перпендикулярны к направлению движения киноплёнки.

Качество модуляции оценивается следующими показателями:

1) амплитудной характеристикой, которая должна быть линейной в пределах 100% модуляции;

2) частотной характеристикой, которая должна быть линейной в диапазоне от 30 до 8000—9000 герц;

3) глубиной световой модуляции, представляющей отношение максимального значения амплитуды переменной составляющей к значению постоянной составляющей светового потока, падающего на плёнку в пределах пишущего штриха; этот показатель имеет весьма существенное значение при интенсивной записи.

Необходимо добавить еще несколько существенных требований к светомодулирующей системе в целом:

1) возможно малая, потребляемая при 100% модуляции, электрическая мощность;

2) возможность получения различных видов и размеров фонограмм;

3) возможность обесшумливания;

4) эксплуатационные и производственные характеристики: простота обслуживания, стабильность работы, легкость изготовления.

Ниже дается краткий очерк развития данной области техники и пути дальнейшего ее развития.

Известно, что модуляция пишущего штриха может быть осуществлена следующими способами:

1) модуляцией длины освещенного участка пишущего штриха при неизменном значении его освещенности; в этом случае получается поперечная фонограмма;

2) модуляцией освещенности светового штриха при неизменных его размерах; этот способ модуляции дает интенсивную фонограмму;

3) модуляцией ширины (толщины) пишущего светового штриха при неизменной освещенности его; в этом случае, так же как и в предыдущем, можно получить интенсивную фонограмму.

В нашей отечественной практике третий способ модуляции не получил применения вследствие эффекта скорости движения пишущего края светового штриха, приводящего к нежелательным искажениям, особенно при фиксации высоких частот.

Сочетанием первого и второго или первого и третьего способов модуляции можно получить комбинированную интенсивно-поперечную фонограмму, как обычную, так и противофазную. Практическое значение может иметь последняя.

Переходя к рассмотрению светомодулирующих устройств, заметим, что в большинстве случаев источник света и модулятор являются отдельными элементами, а в некоторых случаях источник света одновременно может являться и модулятором.

К числу таких модуляторов относится ранее применявшаяся, преимущественно в условиях хроникальных съемок, лампа тлеющего разряда, разработанная Е. А. Якунинским в Ленинградском институте киноинженеров, которая, в сочетании с механической щелью, освещаемой этой лампой, представляла простейшую светомодулирующую систему (рис. 1). Яркость свечения лампы изменяется в зависимости от проходящего через нее тока. Освещаемая этой лампой механическая щель находилась в контакте с движущейся пленкой, на которой производилась запись, или отстояла от нее на весьма небольшую величину. Таким образом, пишущий

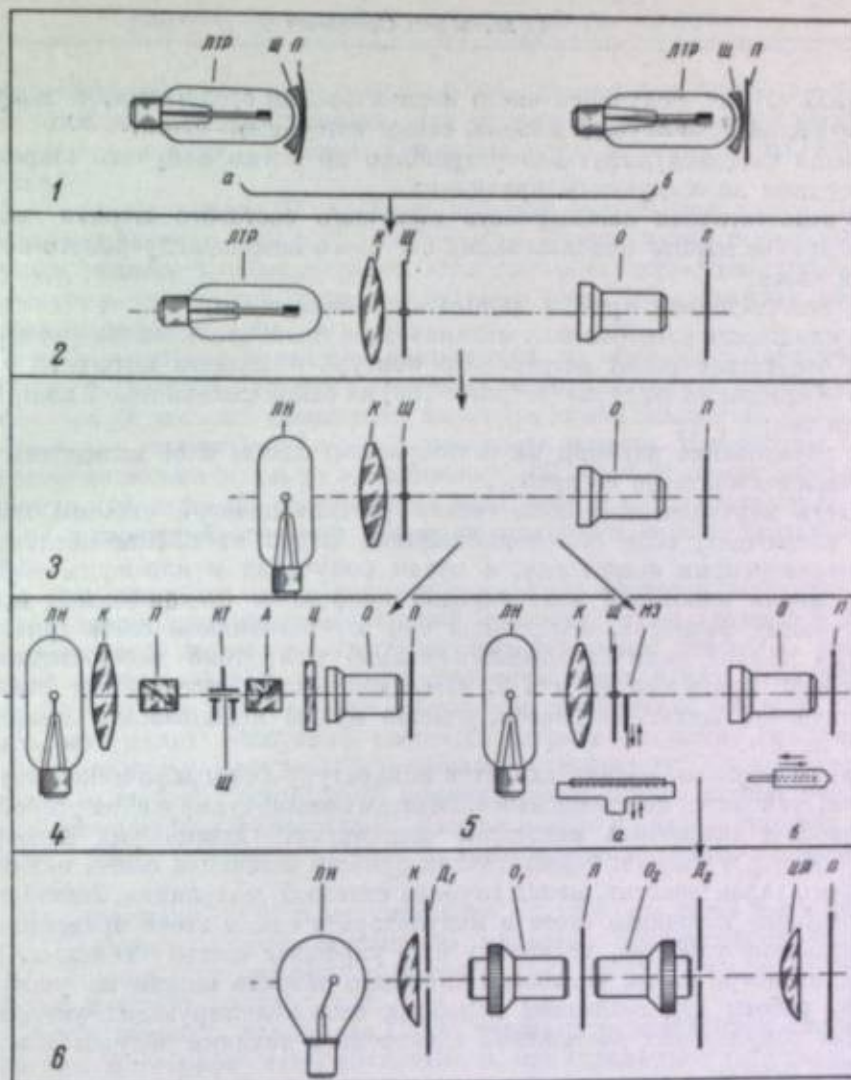


Рис. 1. Схема светомодулирующего устройства с лампой тлеющего разряда.

а — пленка находится в контакте с механической щелью; б — пленка несильно отстоит от механической щели; ЛТР — лампа тлеющего разряда; Щ — механическая щель; П — пленка.

Рис. 2. Схема усовершенствованного светомодулирующего устройства с лампой тлеющего разряда. Пишущий световой штрих на пленке образуется при помощи оптической системы.

ЛТР — лампа тлеющего разряда; К — конденсор; Щ — механическая щель; О — объектив; П — пленка.

Рис. 3. Схема светомодулирующего устройства с лампой накаливания.

ЛН — лампа накаливания; К — конденсор; Щ — механическая щель; О — объектив; П — пленка.

Рис. 4. Схема светомодулирующего устройства с трехэлектродным конденсатором П. Г. Тагера.

ЛН — лампа накаливания; К — конденсор; П — поляризатор; КТ — конденсатор Тагера; Щ — щель; А — анализатор; Ц — цилиндрическая линза; О — объектив; П — пленка.

Рис. 5. Схема светомодулирующего устройства с колеблющейся заслонкой. а — заслонка модулирует щель по ширине; б — заслонка модулирует щель по длине; ЛН — лампа накаливания; К — конденсор; Щ — механическая щель; МЗ — модулирующая заслонка; О — объектив; П — пленка.

Рис. 6. Схема светомодулирующего устройства системы А. Ф. Шорина. ЛН — лампа накаливания; К — конденсор; Д<sub>1</sub> — первая диафрагма; О<sub>1</sub> — первый объектив; Л — модулирующая диалевая ленточка; О<sub>2</sub> — второй объектив; Д<sub>2</sub> — вторая диафрагма; ЦЛ — цилиндрическая линза; П — пленка.



световой штрих получался чисто механическими средствами, а модуляция освещенности осуществлялась самим источником света.

Такое светомодулирующее устройство не могло получить широкого применения по следующим причинам:

- 1) недостаточная освещенность пишущего светового штриха вследствие крайне малого использования светового потока, излучаемого источником света;
- 2) недостаточная яркость самого источника света;
- 3) сложность изготовления механической щели столь малых размеров;
- 4) отсутствие резкого очерченного контура пишущего штриха;
- 5) образование «нагара» (загрязнения) на самой механической щели или вблизи нее;
- 6) образование паразита на светочувствительном слое вследствие металлического контакта со щелью.

Часть перечисленных недостатков рассматриваемой системы может быть исключена, если световой пишущий штрих на пленке образован не механическими средствами, а путем получения в плоскости пленки изображения некоторой механической диафрагмы (механической щели) увеличенных размеров, освещенной тем же источником света (рис. 2).

Для данной цели оказывается вполне пригодной микрооптика — объективы кратности 10 и 7,5. Поставив между источником света и механической щелью конденсор, удастся лучше использовать световой поток лампы.

Таким образом, оптика входит в аппаратуру фотографической звукозаписи, становится неотъемлемым элементом светомодулирующих устройств и позволяет исключить некоторые недостатки. Однако ряд недостатков остается, а именно: недостаточная яркость источника света, малая глубина световой модуляции, гистерезис.

Соединение источника света и модулятора в одном звене представляет определенные удобства, поскольку оно упрощает систему в целом. Поэтому, несмотря на то, что лампы гелиевого разряда выжили из употребления, работы над созданием подобных светомодулирующих устройств на базе современных достижений электронной техники ведутся и в настоящее время.

Недостаточная яркость и другие недостатки лампы гелиевого разряда заставляют ориентироваться на иные источники света, сравнительно высокой яркости и высокой стабильности в эксплуатации. Таковыми оказываются лампы накаливания (рис. 3), которые, однако, практически не могут быть одновременно высококачественными модуляторами. Поэтому возникает необходимость в использовании иных способов и средств для осуществления модуляции пишущего светового штриха.

Таким образом возникает необходимость разделения модулятора и источника света.

Модуляция светового потока, излучаемого автономным источником света — лампой накаливания, можно осуществить несколькими способами. Наиболее простым представляется модуляция размеров некоторой диафрагмы в оптической системе. В частности, в качестве такой диафрагмы можно служить механической щелью, модуляция которой осуществляется перемещением пишущий световой штрих, drawn очерченный в направлении пленки.

Однако путь модуляции механической щелью является малоэффективным: электромагнитного эффекта Керра, примененного в усовершенствованном виде в аппаратуре П. Г. Тагера, производившей запись с аппаратурой А. Ф. Шорина в кинопроизводстве, киноаппаратуры и т.

чение свыше 10 лет, с самого начала зарождения советского звукового кино. Этой аппаратурой записан звук многих художественных фильмов, в частности первая звуковая художественная картина — «Путевка в жизнь».

В своем модуляторе П. Г. Тагер добился значительно лучшей световой характеристики, чем в обычной ячейке Керра, путем использования трехэлектродного конденсатора. В этом светомодулирующем устройстве в качестве механической щели используется щель, образованная обкладками конденсатора (рис. 4).

В зависимости от изменения напряжения на обкладках конденсатора изменяется световая энергия, выходящая из анализатора А и попадающая в объектив О, который совместно с цилиндрической линзой Ц формирует изображение механической щели в плоскости пленки. Источником световой энергии является лампа накаливания ЛН. Свет от лампы попадает в механическую щель Ш, пройдя через конденсор К и поляризатор П. Этой светомодулирующей системой можно осуществлять только интенсивную запись.

Другим способом осуществления модуляции является установка подвижной заслонки в непосредственной близости от механической щели. Заставляя эту заслонку совершать колебательное движение соответственно записываемым звуковым колебаниям вдоль длины механической щели (случай б на рис. 5), можно, пользуясь сферической оптикой, осуществить модуляцию пишущего светового штриха по длине освещенного участка, получая при этом поперечную фонограмму. Соответственным использованием цилиндрической оптики в этом случае можно получить также интенсивную фонограмму. Двигая заслонку вдоль ширины механической щели (случай а на рис. 5), тоже можно получить интенсивную фонограмму.

Так возникают электромеханические модуляторы света заслоночного типа. Примером такого модулятора является ленточный осциллограф А. Ф. Шорина, применявшийся в нашей кинематографии при ее возникновении и много позднее (рис. 6).

Из изложенного видно, что СССР является родиной двух систем аппаратуры фотографической звукозаписи, принципиально отличных друг от друга по способу осуществления модуляции пишущего штриха, т. е. модуляторов электрооптического и электромеханического типов.

Длительное существование обеих систем показало, что электромеханические модуляторы имеют определенные преимущества по сравнению с электрооптическими. Преимущества эти заключаются главным образом в линейности амплитудной характеристики в широком диапазоне, большей освещенности пишущего штриха, большей глубине световой модуляции, возможности осуществления записи как поперечной, так и интенсивной.

В настоящее время в кинопроизводстве применяют электромеханические модуляторы света, но в значительно более совершенном виде и построенные на совсем другой основе по сравнению с прежними.

Для обеспечения надлежащей частотной характеристики, т. е. постоянства смещения заслонки при изменении частоты в пределах звукового частотного диапазона при неизменном значении входной мощности, механическую часть устройства приходится выполнять в виде механической колебательной системы с резонансом, расположенным достаточно близко к верхней границе диапазона записываемых частот. Механическое усиление, очевидно, возбуждается в результате преобразования тем или иным путем электрической энергии в механическую.



Известно, что в этом случае расходуемая электрическая мощность прямо пропорциональна квадрату механического смещения, квадрату величины подвижной массы и четвертой степени собственной частоты системы.

Стремление уменьшить потребляемую электрическую мощность, т. е. повысить чувствительность модулятора, приводит к необходимости уменьшить, по возможности, три указанные величины.

Возможность уменьшения собственной частоты системы ограничивается допустимым западанием частотной характеристики на верхней границе диапазона. Обычно максимальное допустимое западание на частоте 9000 герц составляет 2—4 децибел. Следовательно, минимально допустимое значение собственной частоты определяется допустимыми отклоне-

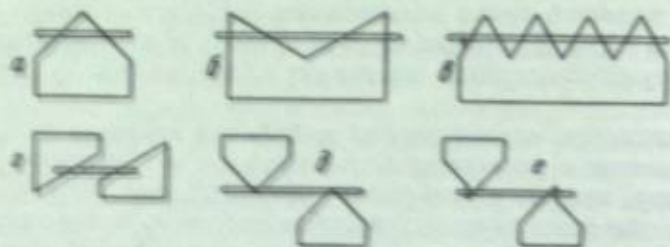


Рис. 7. Равновесия диафрагм, воспроизводящих механическую щель.

Диафрагмы позволяют получать фотографии разных видов симметричных двухсторонних (а и б), несимметричных (в), трехсторонних (д) классов (д) (е), (ж) и (з) (з).

ниями частотной характеристикой от прямой. Этим возможности в отношении выбора собственной частоты механической системы исчерпываются (если не иметь в виду использование обратной электрической связи).

В поисках способов уменьшения механического смещения, а следовательно, и массы (поскольку при меньшем механическом смещении требуется частота соответственно меньших размеров), возникает необходимость построения оптической системы с модулирующей диафрагмой минимальных размеров. Такой является известная оптическая система осциллографа А. Ф. Шорина (рис. 6). Здесь назначение объектива  $O_1$  заключается в получении уменьшенного изображения диафрагмы  $D_1$  в плоскости колеблющейся линзы  $L_1$ , т. е. модулирующей заслонки. Объектив  $O_2$  (такой же, как и объектив  $O_1$ ) в сочетании с цилиндрической линзой  $ЦЛ$  и диафрагмой  $D_2$  формирует световой пучок и в плоскости линзы  $L_2$ .

При помощи этой осциллографа можно осуществлять односторонним, симметричным двухсторонним и трехсторонним классом двусторонним образом, а также объекту двустороннюю запись. Для получения симметричной двусторонней записи применяются следующие оптические устройства.

Получение равнообразных чернильных фотографий другим видом освещения возможно, если механическую щель перекрывать затененными соосцентрическими формами и размерами, и, следовательно, затенять их поодиночке. На рис. 7 показаны различные варианты такой системы.

Одним из приемов увеличения чувствительности, уменьшения массы и объема модулятора является применение механического смещения. Чем больше смещение, тем больше масса модулятора. Однако, уменьшение массы модулятора приводит к увеличению собственной частоты системы, что приводит к ухудшению характеристик системы. Поэтому, уменьшение массы модулятора должно сочетаться с уменьшением собственной частоты системы, что достигается за счет уменьшения жесткости системы.

Если перекрывать механическую щель механическими заслонками разных форм затруднительно, то можно перекрывать ее изображением освещенных масок соответствующих форм, а движение этого изображения в плоскости механической щели осуществлять при помощи колеблющегося вокруг своей оси зеркала. Амплитуду угла колебаний (механическое смещение) зеркала можно сделать достаточно малой. Таким образом возникла идея применения зеркального модулятора (гальванометра), представляющего собой в принципе такой же электромеханический пре-

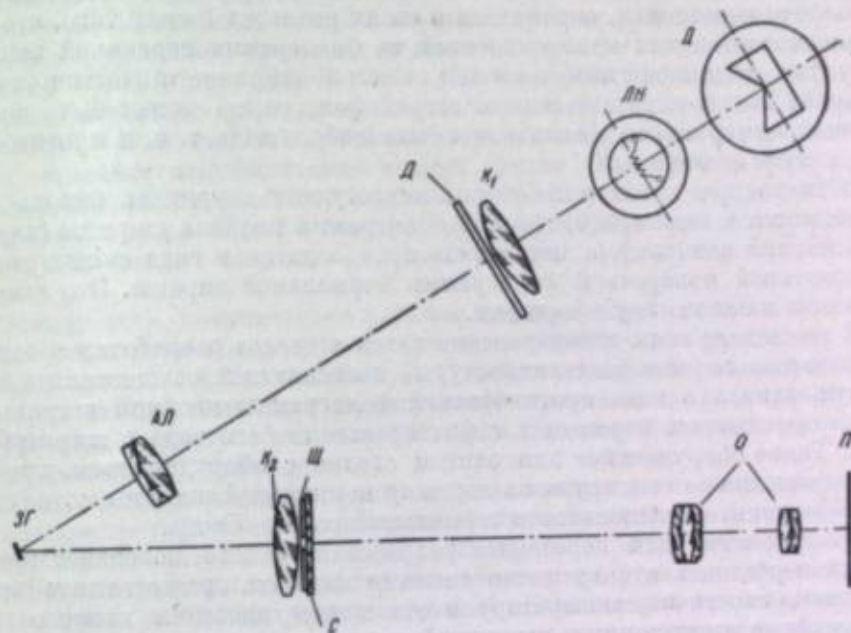


Рис. 8. Схема светомодулирующего устройства с зеркальным гальванометром.

ЛН — лампа накаливания;  $K_1$  — конденсор; Д — диафрагма; АЛ — ахроматическая линза; ЗГ — зеркало гальванометра;  $K_2$  — собирающая линза; Щ — механическая щель; С — светофильтр; О — объектив; П — пленка.

образователь, как только что рассмотренная заслонка. Введение в систему светомодулирующего устройства модуляционного зеркала — оптической диафрагмы ограниченных размеров — приводит к необходимости построения соответствующей оптической системы, с которой мы встречаемся в современных отечественных светомодулирующих устройствах типа СМ, применяемых как в стационарной, так и в экспедиционной аппаратуре (рис. 8).

Нить накала лампы ЛН конденсором  $K_1$  совместно с линзой АЛ изображается в плоскости модуляционного (колеблющегося вокруг своей оси) зеркала ЗГ и покрывает его светом. Собирающей линзой  $K_2$  модуляционное зеркало изображается во входном зрачке объектива О. Линза АЛ изображает равномерно освещенную маску Д соответствующей формы в плоскости механической щели Щ, которая затем изображается в плоскости пленки П объективом О.

Описанная оптика светомодулирующих устройств типа СМ, рассчитанная в Государственном оптическом институте и производимая ленинградским заводом «Кинап», отвечает самым строгим современным требованиям, обеспечивая высокое качество пишущего светового штриха.



Данные оптический система в сочетании с лампой накаливании 30,5 V, 7,8 A позволяет производить запись звука не только в бежем, но и в миниромантизме — синем или ультрафиолетовом — свете.

Как видно из сказанного, светомодулирующие системы с зеркальным гальванометром или являясь наиболее совершенными устройствами, осуществляют фотографическую запись звука. Они значительно расширяют возможности, позволяя получать любой вид фонограммы.

В настоящее время в технике производится звуковых кинофильмов запись почти всего переписывается. Если фонограмма, получаемая в результате переписки, ограничена в своем размахе в силу того, что она предназначается для массовых копий, то фонограмма переписанной записи, не будучи связанной с изображением, может по ширине отличаться от нормальной. Таким образом, если массовая фонограмма может быть только обычной, то переписанная запись может быть любого вида, т. е. и противофазной и любой ширины.

В настоящее время в некоторых киностудиях переписанная запись осуществляется в виде противофазной фонограммы двойной ширины (записку с магнитной записью), а переписывается производится в виде симметричной двусторонней поперечной фонограммы нормальной ширины. Это заметно улучшает качество звукопередачи.

В последние годы ленинградский завод «Кинемо» разработал и освоил в производстве комплект аппаратуры, позволяющий осуществлять переписку записи в виде противофазной фонограммы двойной ширины, а также производить переписку с фонограммы любого вида с шириной до 5 мм. Таким оборудованием для записи слышно с оборудованием, предназначенным для записи звука на дорожку нормальной ширины, т. е. в качестве модулятора используются зеркальный гальванометр.

Оборудование для переписки разработано заново, позволяет производить переписку одновременно с восьми каналов, предоставляет широкие возможности звукоинженеру в отношении внесения всякого рода частотных и амплитудных изменений в процессе переписки, обеспечивает высокое качество воспроизведения переписанных фонограмм, обладает высоким эксплуатационным потенциалом, и т. д.

Таким образом созданы необходимые условия для внедрения описанного процесса в практику всех студий нашей страны и тем самым для повышения качества звучания кинофильмов.

Из сказанного видно, что в ближайшие годы, undoubtedly, будут применяться модуляторы электромагнитного типа, в частности зеркальный гальванометр как наиболее прогрессивный из них.

Все разновидности подобных модуляторов света, являющихся электромагнитными преобразователями, в механической части представляют собой принципиально одинаковые устройства — механические колебательные системы с собственной частотой, расположенной близко к верхней границе диапазона звуковых частот. В связи с этим совершенно сходны и проблема, подлежащая решению, причем в первую очередь следует иметь в виду проблему демпфирования собственных колебаний, необходимого для сглаживания частотной характеристики в области, близкой к резонансу.

Из известных путей решения этой задачи (ввод в механическую колебательную систему активного сопротивления, осуществление обратной электрической связи и др.) в настоящее время призвание получил способ «сухой» демпфирования с дополнительной колебательной насадкой на основную систему, работающей по принципу «резонанса токов». В качестве активного сопротивления здесь применяется металлизированная

резина, обладающая свойствами, сходными со свойствами минеральных масел (вязкое трение). Из всех известных методов демпфирования названный способ оказывается наиболее удобным в производственном и эксплуатационном отношении, но его можно применить не во всех механических колебательных системах, могущих служить нашей цели. С таким положением мы встречаемся в системах с распределенными постоянными, каковой является ленточный осциллограф, где демпфирование осуществляется каплей масла. Масляное демпфирование использовано также в зеркальном модуляторе «Зурокорд — Клангфильм», в котором применено сложное автоматическое устройство, действующее при изменении температуры окружающей среды и тем компенсирующее изменение вязкости масла, в которое погружен весь механизм устройства. Это весьма существенный недостаток, чрезвычайно усложняющий производство и ограничивающий температурный диапазон нормальной работы. Кроме сказанного, масляное демпфирование весьма вредно сказывается на чувствительности прибора. Поэтому в современных приборах следует избегать применения этого способа демпфирования, предпочитая использование указанной выше насадки с применением металлизированной резины.

Однако хотя механические системы наших устройств принципиально сходны, они отличаются друг от друга по способу преобразования электрической мощности в механическую. С этой точки зрения рассматриваемые преобразователи, имеющие практическое применение, распадаются на две группы: 1) электромагнитные системы и 2) магнитоэлектрические (электродинамические) системы.

Представителем первой группы является электромагнитный зеркальный гальванометр типа 5P-1, производимый ленинградским заводом «Кинемо» и широко используемый в кинопроизводстве. Представителями второй группы являются раньше применявшийся в кинопроизводстве ленточный осциллограф А. Ф. Шорина и зеркальный гальванометр «Зурокорд — Клангфильм» (имеющий весьма ограниченное применение в нашей стране). Каждая из этих систем имеет свои достоинства и недостатки.

Существенное достоинство электромагнитного гальванометра типа 5P-1 заключается в сравнительно большой чувствительности и большой площади модуляционного зеркала (8 мм<sup>2</sup>), что, разумеется, весьма важно для получения высокой освещенности пишущего штриха.

Но наряду с этим электромагнитный гальванометр типа 5P-1 обладает существенными недостатками. Один из них заключается в значительной нелинейности, что вызывает заметные искажения в виде возникновения паразитных гармоник (четных и нечетных), значения которых практически достигают до 2—3% и даже выше. Вторым недостатком состоит в эффекте экспонирования, выражающемся в относительном падении чувствительности прибора при фиксации малых уровней. Этот недостаток — наиболее существенный, особенно при записи речи: он порождает большую неразборчивость и ненатуральность речи. Кроме того, электромагнитный гальванометр типа 5P-1 не обеспечивает стабильности нулевых линий («пауз») фонограммы вследствие явления магнитного гистерезиса.

Магнитоэлектрические модуляторы света, обладая огромным достоинством — линейностью и практически отсутствием искажений, отличаются в то же время меньшей чувствительностью. Это приводит к тому, что, например, в гальванометре «Клангфильм» этого типа площадь модуляционного зеркала всего 2,5 мм<sup>2</sup>, т. е. в 3 с лишним раза меньше, чем в электромагнитном гальванометре типа 5P-1. Этого вполне достаточно, чтобы отказаться от внедрения такого прибора в промышленность.



Таково в весьма кратких чертах положение со светомодулирующими системами, имеющими в настоящее время широкое применение в кинопроизводстве.

Подводя итоги сказанному, можно отметить, что наряду с оптической системой, описанной выше и обеспечивающей высокое качество пишущего штриха с шириной до 6  $\mu$ , а также высококачественным источником света — лампой накаливания (яркость тела накала которой достигает 2000 стивльбов и более) далеко не благополучно обстоит дело с собственно модулятором — зеркальным гальванометром. Этот вопрос особенно обостряется в связи с возросшими требованиями киностудий.

Поэтому наиболее актуальной проблемой является разработка и внедрение в производство нового модулятора света в виде зеркального гальванометра, не имеющего недостатков гальванометра типа 5Р-1.

Новый зеркальный гальванометр должен обладать также достоинством гальванометра типа 5Р-1 — большими размерами модуляционного зеркала (8 мм<sup>2</sup>).

В конце 1948 г. была закончена работа по созданию рабочего макета нового зеркального гальванометра оригинальной системы. Первые опытные записи в условиях завода «Кинан» и киностудии «Ленфильм» дали превосходные результаты. Впоследствии была разработана опытная конструкция этого магнито-электрического гальванометра с площадью модуляционного зеркала в 8 мм<sup>2</sup> и изготовлена небольшая опытная партия этих приборов, которая находится в пробной эксплуатации в ряде ведущих киностудий страны. Как показывают отзывы студий, качество звукозаписи, осуществленное новым гальванометром, отличное. Необходимо отметить, что конструкцию гальванометра удалось выполнить так, что в существующем в эксплуатации парке оборудования старого типа электромагнитный гальванометр очень легко заменяется новым, и тем самым весьма просто осуществляется модернизация находящейся в эксплуатации аппаратуры.

В настоящее время у нас применяется исключительно поперечная фонограмма как в перичной записи, так и на массовых копиях. Между тем имеется много оснований применять интенсивную фонограмму, в случае которой можно преодолеть многие требования в отношении качества воспроизводящего читаемого светового штриха. Неравномерность освещенности светового штриха, его сдвиг или наличие небольшого отклонения от перпендикулярности к краю каплонты не порождает существенных искажений при воспроизведении интенсивной фонограммы, тогда как воспроизведение звука с поперечной фонограммы при этих условиях сопровождается возникновением нежелательных искажений.

В условиях широко развитой киноленты эта особенность интенсивной фонограммы приобретает значительный интерес, поскольку дает существенное облегчение эксплуатации проекционного звуковоспроизводящего оборудования.

Отсюда возникает потребность в светомодулирующих устройствах, осуществляющих высококачественную интенсивную запись. Наиболее совершенными средствами для получения высококачественной интенсивной записи являются те же зеркальные гальванометры в сочетании с соответствующей оптической системой.

Таких светомодулирующих устройств у нас в производстве еще нет. Разработки их ведутся и производятся светомодулирующих систем с зеркальным гальванометром для осуществления интенсивной записи являются очередной задачей, требующей скорейшего разрешения.

Однако интерес к интенсивной фонограмме не исчерпывается высказанными соображениями. Она обладает еще и другими благоприятными особенностями; например, речевые записи интенсивным способом значительно превосходят по качеству те же записи, исполненные поперечным способом.

Широко распространено мнение, что в данном случае мы имеем эффект компрессирования, т. е. сжатия уровня звукозаписи, обусловленное криволинейностью характеристических кривых пленок. Однако можно доказать несостоятельность такого объяснения. Действительно, компрессирование, как известно, благоприятно отражается на качестве записи речи поперечным способом. Компрессирование, или сжатие, диапазона есть относительное подавление более высоких уровней записываемых сигналов по сравнению с низкими уровнями, причем степень подавления возрастает с возрастанием уровня сигнала. Иными словами, мы здесь имеем нелинейную зависимость между поступающим сигналом и его записью в виде фонограммы. Это есть не что иное, как нелинейная амплитудная характеристика, говоря, регулировочная характеристика, правда, с оговоркой, что в данном случае эта нелинейность не порождает паразитных гармоник, искажающих запись.

Между тем амплитудная характеристика правильно выполненной интенсивной записи, представляющей средний участок графика зависимости прозрачности копии от экспозиции негатива (рис. 9), должна быть прямолинейна. В противном случае мы будем иметь искажение записи, но не компрессирование ее. Здесь в лучшем случае можно говорить о лимитирующем действии, обусловленном наличием криволинейных участков на концах рабочего прямолинейного участка. Но действие этих криволинейных участков может иметь место только при достаточно глубокой модуляции, порядка 70—80%, в то время как средний уровень записи речи в подавляющем большинстве случаев не превышает 40—50% модуляции; следовательно, криволинейные участки данного графика остаются за пределами модуляции и, значит, не могут оказывать какого-либо влияния на запись. Таким образом, вопрос, почему речевые записи при использовании интенсивной фонограммы получаются лучшими, чем при поперечной фонограмме, пока еще окончательно не решен. Повидимому, здесь сказывается влияние зон неравномерной экспозиции при поперечной записи при фиксации весьма малых уровней, особенно если учесть, что при химической обработке поперечной фонограммы резко нарушается именно условие Гольдберга. Но ведь неразборчивость речи обуславливается именно сложной передачей малых уровней и поэтому для относительного «вытягивания» малых амплитуд приходится прибегать к помощи искусственного сжатия диапазона. Возможно, что при строгом соблюдении условия  $\gamma_{\text{дт}} = 1$  поперечная запись в этом отношении и не отличалась бы от интенсивной записи. Однако пока этот вопрос остается без удовлетворительного ответа.

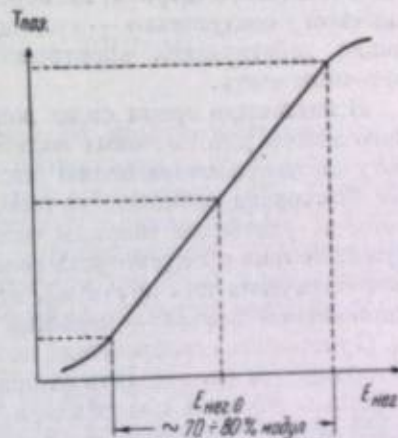


Рис. 9. Кривая зависимости прозрачности негатива (копии) от экспозиции негатива для интенсивной фонограммы.



Во всяком случае, назрела острая необходимость в создании новых, совершенных светомодулирующих устройств с зеркальным гальванометром для записи звука интенсивным методом с использованием соответствующей высококачественной пленки. Разрешением данной задачи были заняты Ленинградский институт киноинженеров и ленинградский завод «Кинап».

В Ленинградском институте киноинженеров В. А. Бургов выполнил большую теоретическую работу, в которой все способы модуляции классифицируются следующим образом: 1) трансформация изменения длины освещенной части механической щели в изменение освещенности пишущего светового штриха; 2) перекрытие механической щели подвижной плоской «полутенью» — градационной полосой освещенности; 3) изменение действующей апертуры цилиндрической линзы, изображающей источник света.

В настоящее время стоит вопрос о практическом внедрении интенсивного метода для массовых копий. Наряду с этим целесообразно вести работу и по использованию интенсивного метода в первичной записи. Не исключена возможность того, что интенсивная запись противофазным методом удвоенной ширины окажется лучше поперечной записи. Здесь нужно только предусмотреть возможность изменения ширины фонограммы (автоматически или вручную), чтобы уменьшить единственный недостаток интенсивной записи — меньший динамический диапазон.

С учетом этих соображений на заводе «Кинап» был изготовлен модулятор, позволяющий производить запись фонограммы шириной в 4,4 мм противофазным методом класса «А», а также осуществлять изменение ширины фонограммы. Возможно, что при этих условиях тоже будет целесообразно производить музыкальные записи интенсивным методом.

Имея в виду, что увеличение ширины интенсивной фонограммы дает увеличение динамического диапазона пропорционально квадрату ее ширины, С. А. Гершгорин выполнил расчет оптической системы интенсивного модулятора, позволяющего производить запись шириной в 20 мм для использования почти всей ширины кинопленки. Реализация соответствующего прибора представляет определенный интерес.

Наконец, существенно важной проблемой является изыскание новых способов фотографической звукозаписи и, в частности, использование для этой цели современных достижений электронной техники. В этом направлении работают в НИКФИ П. Г. Тагер совместно с С. С. Шушариным, А. И. Парфентьевым и Н. И. Тельноным.

С. Д. КАРПИДИ

## ФОНОГРАММА НА УЗКОМ ФИЛЬМЕ

Совместная работа предприятий советской кинопромышленности и научно-исследовательских организаций, проведенная под руководством НИКФИ, привела к созданию узкоплёночной кинематографии, имеющей огромное значение для кинофикации Советского Союза. В СССР созданы оригинальные конструкции съёмочной, звукозаписывающей, кинопроекционной, копировальной и проявочной аппаратуры для узких плёнок и разработан технологический процесс изготовления звуковых черно-белых и цветных узкоплёночных фильмов.

Размеры кадра для узкой плёнки были теоретически обоснованы, а не установлены эмпирически, как это было сделано за границей. В 1931—1932 гг. в НИКФИ был разработан аппарат оптической печати фонограммы с 35-мм негатива на 16-мм плёнку. В 1933—1934 гг. впервые осуществлена демонстрация узких фильмов на больших экранах. В 1934 г. применена дуговая лампа для узкоплёночного проектора. В середине 1939 г. разработана оптимальная характеристика звуковоспроизводящего тракта, используемого для воспроизведения узких фильмов.

В 1941 г., впервые в мировой практике, был разработан стационарный узкоплёночный проектор с ртутной лампой сверхвысокого давления и фотоэлектронным умножителем. В 1947 г. (в НИКФИ) также впервые были изготовлены узкоплёночные цветные копии на 16-мм многослойной плёнке путем оптического уменьшения с 35-мм цветных негативов. В 1948—1949 гг. разработана рациональная технология получения 16-мм массовых копий с применением оптической печати фонограммы.

Однако, несмотря на определенные успехи, качество звучания 16-мм фильмов все еще находится на значительно более низком уровне по сравнению с 35-мм фильмами.

16-мм звуковые фильмы отличаются от 35-мм в основном двумя особенностями: меньшей шириной фонограммы и меньшей скоростью ее движения при воспроизведении. Фонограмма узкого фильма в 1,2 раза уже, чем широкого, а скорость движения плёнки и вследствие этого длина волны записи в 2,5 раза меньше. Эти две причины являются основными препятствиями для приближения качества фонограммы 16-мм фильма к качеству фонограммы 35-мм фильма.

Применяемая в настоящее время плёнка с разрешающей способностью 70—80 линий на 1 мм при использовании ее для 35-мм фильмов может обеспечить удовлетворительную запись частот до 8000 герц. В случае 16-мм фильмов диапазон частот сужается до 3500 герц. Однако для получения удовлетворительной звукопередачи требуется запись частот до 6000 герц.



Разрешающая способность звукозаписи как функции частоты  $f$ , при заданном задании  $\alpha$  частотной характеристики, выражается формулой:

$$R = \frac{15 \cdot 10^6}{\alpha \cdot \cos^2 \alpha}$$

Согласно этой формуле, для получения удовлетворительной записи на узкой пленке в диапазоне частот до 6000 герц разрешающая способность пленки должна быть равна приблизительно 150 линиям на 1 мм.

Уменьшение ширины фонограммы 16-мм фильма неизбежно приводит к уменьшению отдачи в динамическом диапазоне записи. При этом, так как длина волн соответственно уменьшается и собственный шум фонограммы, однако вследствие уменьшения скорости продвижения пленки, спектр частот шума смещается в область 3—4 тыс. герц, где чувствительность уха большая. Это обуславливает дополнительные требования к звукозаписи в отношении мелкозернистости, чистоты слоев и отсутствия загрязнений.

Выносятся требования к условиям обесшумливания фонограммы и к фотографической обработке негатива и позитива, чистоте рабочих помещений, оборудованию, растворам, воде, воздуху, а также к аппаратуре записи, копирования и воспроизведения. Перекос и расфокусировка пишущего или читающего штриха приводит к искажениям фонограммы на узкой пленке, проявляющимся искажения на 35-мм пленке в тех же условиях.

Для того чтобы заданная частотная характеристика не превышала 10%, ширина пишущего штриха не должна быть больше  $\frac{1}{4}$  длины волны наиболее высокой записываемой частоты. Однако при записи на узкую пленку приходится использовать пишущий штрих шириной 10—12  $\mu$ . Ширина читающего штриха 16-мм кинопроекторов равна 15—20  $\mu$ , что обуславливается необходимостью иметь световой поток не менее 0,003 люмена.

Вследствие меньшей ширины фонограммы и расположения ее у края пленки необходима повышенная точность фиксации узкой пленки при прохождении ее мимо пишущего, копировального и читающего штрихов соответствующей аппаратуры.

Неравномерность продвижения фонограммы вызывает появление характерных искажений — детонацию звука. Колебания скорости с малой частотой воспринимаются как «плавание» звука. Колебания большой частоты приводит к повышению коэффициента нелинейных искажений, являющегося функцией величины  $\frac{m}{\lambda}$ , где  $m$  — амплитуда колебаний и  $\lambda$  — длина волны записи.

Для обеспечения величины коэффициента нелинейных искажений не большей, чем на 35-мм пленке, требуется уменьшить амплитуду колебаний узкой пленки в 2,5 раза.

Важное значение при получении фонограммы на 16-мм пленке приобретают условия копирования и обработки.

Вследствие меньшей длины волны искажения фонограммы на узкой пленке наблюдаются на частотах более низких, чем в случае 35-мм пленки. Искажения, связанные с недостатком разрешающей способности, в случае поперечной фонограммы лучше всего характеризуются величиной выпрямляющего эффекта (эффекта заплывания) и заданием частотной характеристики записи.

Как известно, специфическими для поперечной фонограммы являются шумы — непериодические помехи, вызываемые заплыванием фонограммы.

Они обнаруживаются на записи речи и почти незаметны на записи музыки. Неправильно проведенный процесс копирования и обработки позитива фонограммы приводит к выпадению шипящих и свистящих звуков речи и к возникновению помехи, являющейся следствием изменения средней прозрачности фонограммы. Характерные частоты шипящих звуков — ш, ч и ж — соответствуют 4600, 4800 и 5200 герц; свистящих — з и с — соответствуют 7000 и 8000 герц. Условия правильной передачи этих звуков различны и значительно сложнее для 16-мм пленки, чем для 35-мм.

Условия получения неискаженного позитива поперечной фонограммы определяются компенсационной кривой плотностей негатива и позитива.

Величина допусков при обработке 16-мм пленки много меньше, чем при обработке 35-мм пленки. Эти допуски определяются кривыми шумов выпрямляющего эффекта, как функции плотности негатива, для позитива, соответствующего оптимуму отдачи.

На рис. 1 кривая I показывает зависимость искажений, вызываемых эффектом заплывания в 16-мм негативе от плотности негатива  $D_{\text{neg}}$  для симметричной двухсторонней поперечной фонограммы. Кривая II показывает ту же самую зависимость для 35-мм пленки.

Большое значение имеет строгость соблюдения режимов печати и обработки позитива фонограммы. При уровне искажений в 20% допуск на величину плотности позитива не должен превышать  $\pm 0,07$ .

Значение точности соблюдения режимов обработки узкой пленки увеличивается с увеличением частотного диапазона записи, что вынуждает для получения неискаженной звукопередачи ограничивать в определенных пределах запись высоких частот.

Все перечисленные причины приводят к искажениям формы волны записи на 16-мм фильме, которые в зависимости от вида фонограммы и метода ее получения могут быть различными, но всегда бывают большими, чем при равных условиях на 35-мм пленке.

Существенной особенностью фонограммы в 16-мм фильмах является способ получения ее. Как правило, 16-мм фильмы получают перенесением изображения и фонограммы с 35-мм пленки.

На рис. 2 представлены схемы процессов получения фонограммы 16-мм копии. Помимо способов, указанных на схеме, позитив фонограммы на 16-мм пленке может быть получен оптически уменьшением или перенесением с 35-мм позитива, с последующей обработкой по способу обращения. Данный метод, не представляющий промышленного интереса, может найти применение в любительской и учебной практике. Возможен также метод оригинальной записи негатива фонограммы на 16- или 32-мм пленке с последующей контактной или оптической печатью позитива.

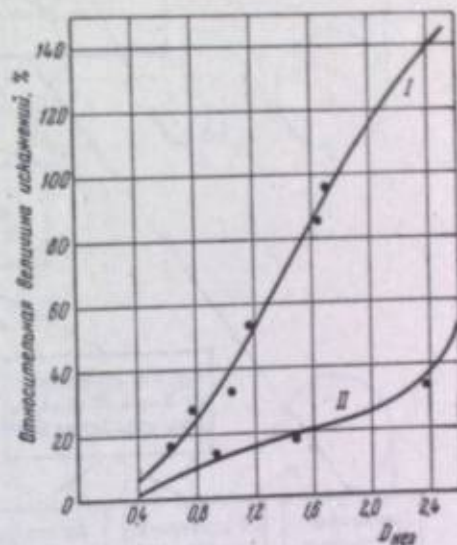


Рис. 1. Зависимость искажения эффекта заплывания от плотности негатива при записи на 16-мм (I) и 35-мм (II) пленке ЗТ-4 (запись синим светом).



Из перечисленных методов интерес представляет оптическое уменьшение и электрическая перезапись фонограммы.

При оптическом уменьшении 16-мм позитивная фонограмма получается с 35-мм негатива. Технологический процесс при применении этого метода отличается простотой, однако качество фонограммы неудовлетворительно из-за неполной компенсации выпрямляющего эффекта.

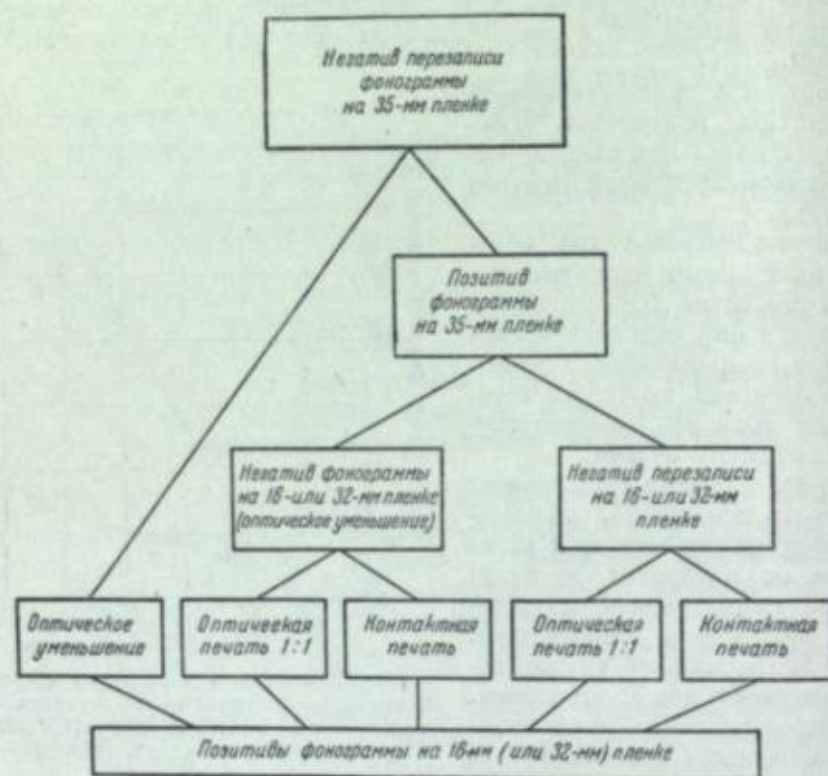


Рис. 2. Схема возможных методов получения позитивов фонограммы на 16-мм пленке.

При используемых в настоящее время позитивных пленках можно рассчитывать на получение в 16-мм копии записи частот максимум до 5000 герц. На 35-мм пленке частота 5000 герц практически может быть получена без искажений при незначительном уменьшении отдачи.

При копировании фонограммы с записью частоты 5000 герц на узкую пленку последняя имеет длину волны, соответствующую частоте 12 500 герц на 35-мм пленке, запись же этой частоты сопровождается значительным уменьшением отдачи и большими искажениями, вследствие влияния выпрямляющего эффекта. Для уменьшения величины искажений в 16-мм позитиве необходимо работать при плотностях, близких к балансовой плотности, но при этом резко уменьшается отдача и увеличивается собственный шум фонограммы.

Для устранения указанного недостатка можно, применяя для 35-мм негатива пленку с меньшей разрешающей способностью, увеличить искажения в исходной фонограмме и получить в 16-мм позитиве скомпенсированную фонограмму. Однако это приводит к значительному западанию частотной характеристики.

Наилучшим способом является применение для 16-мм позитива мелкозернистой пленки с высокой разрешающей способностью.

Еще один вариант метода оптического уменьшения, использующий в качестве исходного материала на 35-мм пленке позитив фонограммы, обуславливает наличие обязательной операции — массовой печати копии с 16-мм негатива, получаемого оптическим методом.

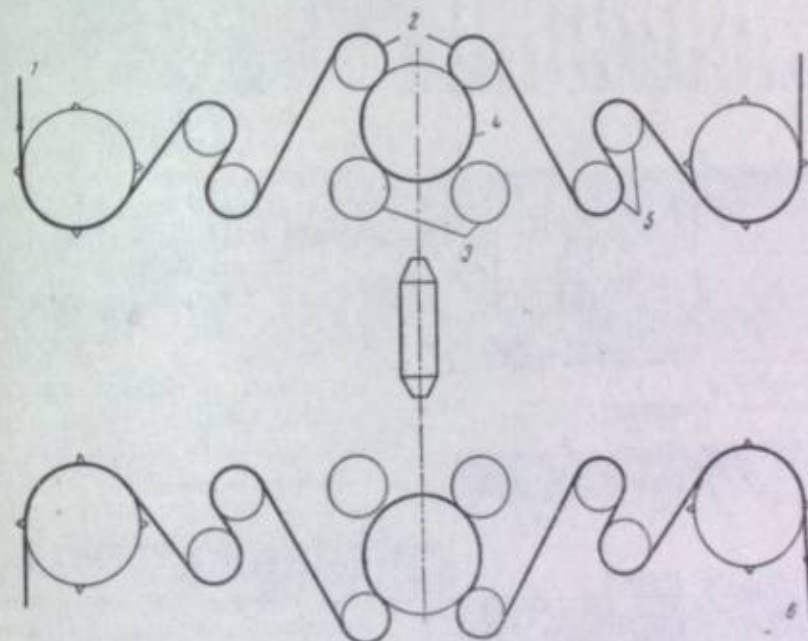


Рис. 3. Схема лентопротяжного тракта звукоблока копирующего аппарата оптической печати.

1 — 32-мм негатив фонограммы; 2 — направляющие ролики; 3 — приемные ролики; 4 — гладкий барабан; 5 — демпфирующие ролики; 6 — 16-мм позитивная пленка.

Как видно из схемы рис. 2, рассматриваемый процесс, как и электрическая перезапись, обеспечивают получение негатива фонограммы на 16- или 32-мм пленке. Массовая печать узких копий с негатива фонограммы может производиться на контактных или оптических копирующих аппаратах.

Оптическое уменьшение с 35-мм позитива мало отличается от описанного выше, если исходным материалом служит негатив. Качество получаемой при этом фонограммы практически одинаково с качеством, получаемым при использовании 35-мм негатива, благодаря возможности чающихся при использовании 35-мм негатива, благодаря возможности чающихся при использовании 35-мм негатива. Неопри массовой печати компенсировать искажения 16-мм негатива. Необходимость дополнительного процесса — печати копии, сводит на нет преимущества метода оптического уменьшения и делает его по числу операций подобным электрической перезаписи.

При электрической перезаписи фонограммы на 16- или 32-мм пленку требуется более сложная аппаратура. Современный тракт перезаписи на узкую пленку представляет собой комплект высококачественной звуковоспроизводящей аппаратуры, с многочисленными дополнительными звеньями, звукозаписывающим и проекционным аппаратами.

Преимущества электрической перезаписи состоят в большой гибкости метода. Частотная характеристика фонограммы, соотношение уровней



записи и, наконец, вид фонограммы зависит при этом методе от применяемой частотной коррекции и амплитудной характеристики тракта перезаписи, а также от метода записи. При этом запись 16-мм негатива фонограммы и печать позитивной копии происходят в обычных условиях, что при применении высококачественных аппаратуры и пленки обеспечивает

получение необходимой плотности фонограммы и сведение искажений к минимуму.

Так же как и предыдущий метод, электрическая перезапись предъявляет определенные требования к исходному материалу, причем особенно важна полная компенсация искажений исходного 35-мм позитива фонограммы.

Развитие звуковой узкоплочной кинематографии началось у нас с применения метода оптического уменьшения фонограммы на 32-мм пленку, с последующей контактной печатью массовых копий. Вскоре, в связи с несовершенством оптической копировальной аппаратуры, стали пользоваться методом электрической перезаписи, который применяется до настоящего времени. Принятый технологический процесс включает операцию перезаписи фонограммы с 35-мм позитива на узкую пленку.

Нашими заводами киноаппаратуры построена необходимая для оснащения узкоплочной кинематографии звукозаписывающая, копировальная, проекционная аппаратура, проявочные и другие машины и оборудование.

В результате исследования применяемых сортов пленок и потерь, связанных с перезаписью и обработкой негатива фонограммы на узкой пленке, была установлена необходимая частотная характеристика тракта перезаписи. Подъем в области частот 3500—4000 герц и резкое западание в области частот 5500—6000 герц обусловлены необходимостью компенсировать потери, возникающие в негативно-позитивном процессе, и искажения, связанные с недостаточной разрешающей способностью пленок. В настоящее время на узкой пленке применяется 10-дорожечная фонограмма, которая допускает менее строгие условия массовой печати и обработки и обладает рядом эксплуатационных преимуществ. Отсутствие

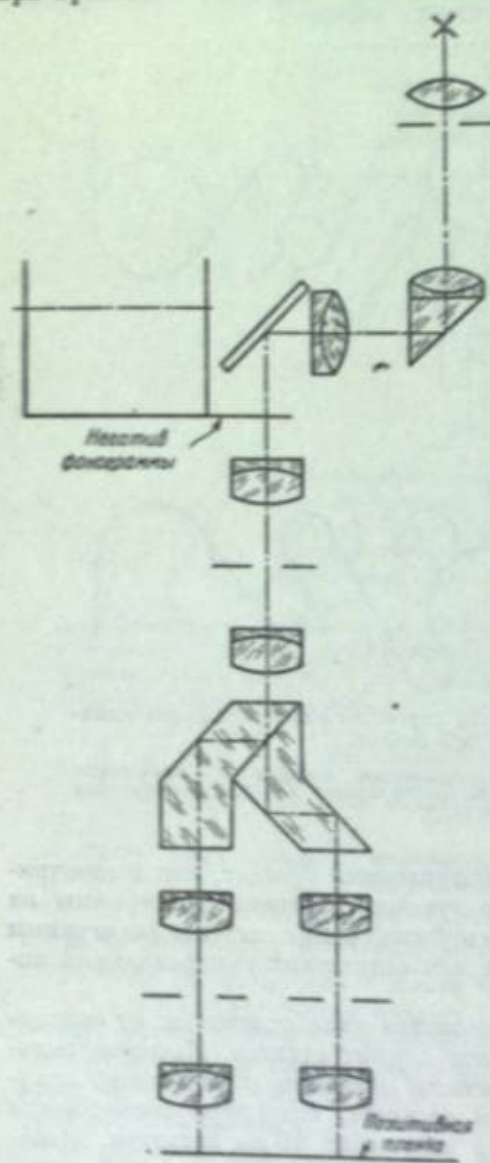


Рис. 4. Схема оптического копировального аппарата для печати фонограммы на 32-мм пленку.

перезаписи. Подъем в области частот 3500—4000 герц и резкое западание в области частот 5500—6000 герц обусловлены необходимостью компенсировать потери, возникающие в негативно-позитивном процессе, и искажения, связанные с недостаточной разрешающей способностью пленок.

В настоящее время на узкой пленке применяется 10-дорожечная фонограмма, которая допускает менее строгие условия массовой печати и обработки и обладает рядом эксплуатационных преимуществ. Отсутствие

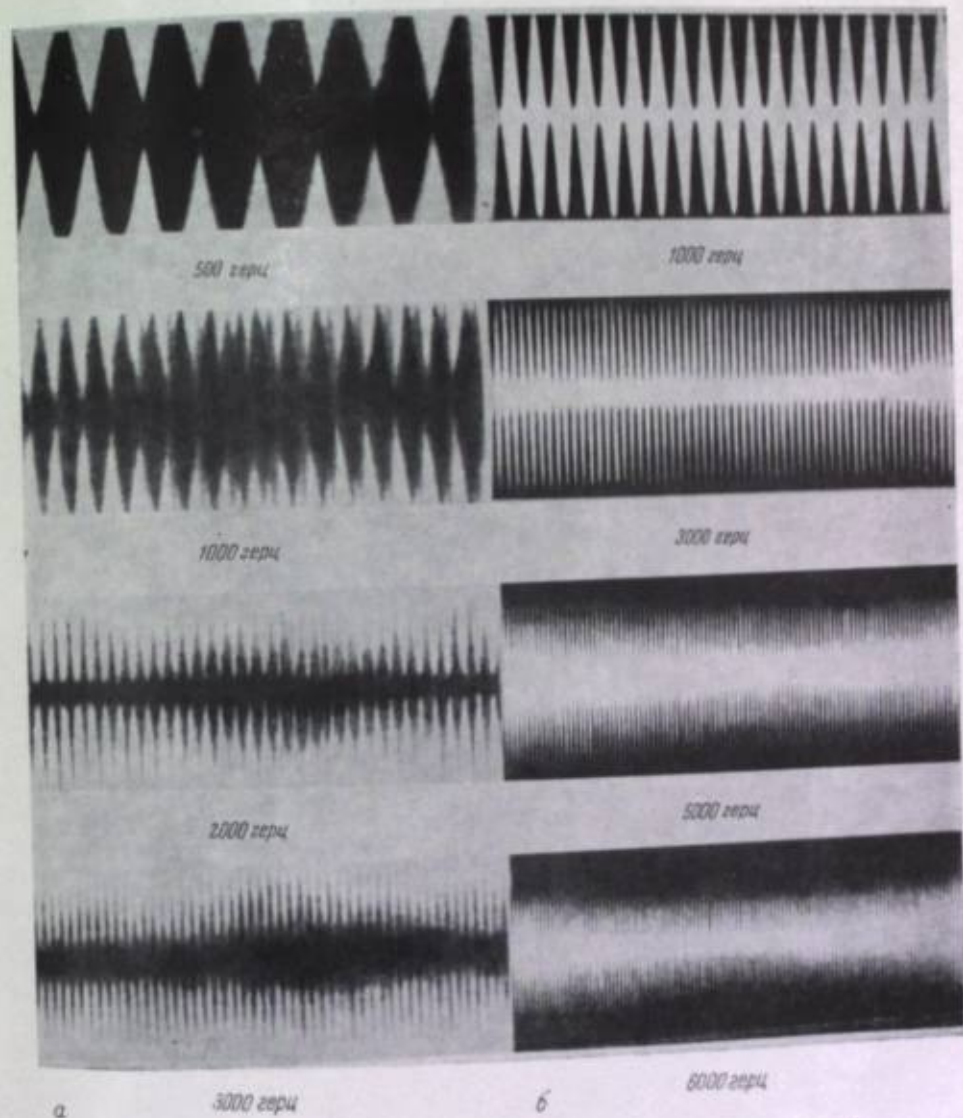


Рис. 5. Увеличение с позитивов фонограмм на 16-мм пленку  
а — печать контактным методом на зубчатом барабане; б — печать оптическим методом на гладком барабане.



возможности обесшумливания этого типа фонограммы, а также больший уровень шума узкой пленки и меньшая ширина фонограммы на ней приводят к тому, что динамический диапазон современной записи на узком фильме не превышает 25—28 децибел.

Повышенный уровень шума необесшумленной многодорожечной фонограммы, а также неполная компенсация выпрямляющего эффекта в процессе печати заставляют искать новый вид фонограммы для узких фильмов. В качестве такового исследуется в настоящее время фонограмма переменной плотности.

Изыскания методов улучшения качества звучания узких фильмов привели к построению и испытанию макета аппарата оптической печати фонограммы, схемы лентопротяжного тракта и оптической системы которого приводятся на рис. 3 и 4.

Основное внимание при разработке нового метода копирования фонограммы было обращено на достижение равномерности продвижения пленок и минимальной ширины штриха. Первое условие, как известно, может быть удовлетворено только при раздельном продвижении пленок.

В макете копировального аппарата, разработанном в НИКФИ, пленки продвигаются при помощи гладких барабанов, приводимых во вращательное движение силой вязкого сцепления слоя масла, находящегося между маховиком, насаженным на вал барабана, и стенками полого маховика, приводимого в движение асинхронным мотором. Зубчатые барабаны и наматыватели приводятся в движение другим мотором.

Оптическая система состоит из осветителя, просвечивающего фонограмму на свешивающемся крае негатива, и входного и выходного объективов, между которыми располагается удвоитель фонограммы.

Испытание макета аппарата подтвердило преимущества кинематической и оптической схем: большую стабильность продвижения пленок и высокую резкость получаемого позитива.

Преимущества оптического метода печати обнаружались в получении высокого и однородного качества фонограммы, независимо от соотношения шагов перфорации негативной и позитивной пленок.

Приводимые на рис. 5 увеличения, сделанные с позитива фонограммы, отпечатанной с одного и того же негатива на контактной аппаратуре (на зубчатом барабане) и на макете аппарата оптической печати, хорошо иллюстрируют преимущества последнего.

Работы по испытанию копировальной аппаратуры контактной печати на зубчатом барабане показали практическую непригодность этого метода печати, что обуславливается относительным скольжением пленок, а также невозможностью равномерного протягивания двух пленок зубчатым барабаном. Были вскрыты основные причины, ограничивающие улучшение качества звучания узкого фильма, и разработан метод устранения искажений, который положен в основу работ по созданию оптического копировального аппарата.

Использование оптической печати при современных сортах эмульсий позволяет расширить частотный диапазон фонограммы на узком фильме до 5000—5500 герц, обеспечивая при этом неискаженную звукопередачу. Это иллюстрируют приведенные выше увеличения с позитивов фонограмм. Дальнейшее усовершенствование мелкозернистых пленок с высокой разрешающей способностью позволит еще более расширить частотный диапазон узких фильмов. Испытания новых сортов мелкозернистых эмульсий показали возможность в ближайшие годы получать на узкой пленке удовлетворительную запись до 5000 герц, что, в сочетании с оптической



печатью, позволит приблизить частотный диапазон записи на узкой пленке к имеющемуся в настоящее время в 35-мм фильмах.

Важнейшее значение для развития звуковой узкоплёночной кинематографии может иметь разработка: 1) новых мелкозернистых плёнок; 2) новых принципов печати фонограммы, использующих оптическую систему и равномерное продвижение плёнок на гладких барабанах; 3) технологических процессов обработки; 4) нового узкоплёночного кинопроектора с улучшенной звуковоспроизводящей частью и повышенной мощностью усилителя; 5) нового модулятора света и аппаратуры тракта пере- записи на узкую плёнку.

---

*Часть третья*

**ИЗ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ  
ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ  
И ТЕХНИКИ**

---



В. И. ШЕБЕРСТОВ

ОБЗОР РАБОТ МОСКОВСКИХ УЧЕНЫХ  
В ОБЛАСТИ ХИМИКО-ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В развитие фотографической науки весьма крупный вклад внесли работы русских и в особенности советских ученых. Еще до революции в России имелись талантливые исследователи, разрабатывавшие проблемы фотографической техники. Однако подлинный расцвет фотографической науки, как и других научных дисциплин, в нашем Отечестве наступил после Великой Октябрьской социалистической революции. Расцвет фотографической науки в СССР в значительной степени связан с организацией и развитием отечественной фотографической, оптико-механической и кинематографической промышленности, практически полностью отсутствовавшей в России до революции.

Советская кинофотопромышленность в момент своего зарождения не имела ни материальной базы, ни технического опыта, ни достаточного количества кадров специалистов. Все эти предпосылки развития промышленности создавались одновременно с созданием самой промышленности. Естественно, что в этих условиях было уделено весьма серьезное внимание организации подготовки квалифицированных кадров для молодой промышленности и организации планомерно построенной и широко развернутой системы научных исследований, без которых было невозможно укрепление и развитие промышленности.

В первые же годы после Октябрьской революции были созданы высшие учебные заведения и научные институты, обслуживающие отечественную кинофотопромышленность. В 1918 г. организуется Государственный оптический институт, в составе которого в 1926 г. создается фотографический сектор. В 1918 и 1919 гг. создаются два специальных высших учебных заведения: Государственная школа кинематографии в Москве, позднее реорганизованная в Высший государственный институт кинематографии, и Высший институт фотографии и фототехники в Ленинграде, позднее реорганизованный в Ленинградский институт киноинженеров. В те же годы начинает проводиться систематическая работа в области фотографической техники в Московском университете и в некоторых специальных лабораториях, в Одесском университете и др.

В 1929 г. в Москве был организован институт, специальным назначением которого является научная разработка вопросов фотографии и кинематографии — Научно-исследовательский кино-фотоинститут (НИКФИ). Помимо этого, в Москве проблемы фотографической науки разрабатывались в фотохимической лаборатории института имени Л. Я. Карпова, в Научно-исследовательском институте полиграфической промышленности,



в Научно-исследовательском институте геодезии, аэро съемки и картографии (сначала в Ленинграде, затем в Москве) и в некоторых других научно-исследовательских лабораториях и институтах. В Ленинграде, помимо ГОИ и ЛИКИ, работа в области научной фотографии велась в Институте метрологии и стандартизации, в физическом институте Ленинградского университета и др. Крупный вклад в развитие фотографической науки дали также работы, проводившиеся на кафедрах органической химии Харьковского и Киевского университетов, в Харьковском химико-технологическом институте, в Институте органической химии Академии наук УССР, в физическом институте Одесского университета и др.

Развитие кинофотопромышленности в СССР привело к созданию сети научно-исследовательских лабораторий на производственных предприятиях: на киноплочных фабриках в Шостке, Казани и Переславле, на киностудиях Мосфильм, Ленфильм и др.

Мы видим, что интенсивная работа в области фотографической науки проводилась во многих местах Советского Союза, и вправе говорить о возникновении и развитии нескольких центров фотографической науки в СССР: в Москве, в Ленинграде, в Украинской республике и др. Следует иметь в виду, конечно, что, в противоположность научным центрам в капиталистических странах, работа в наших советских научных центрах велась при непрерывном взаимном обмене опытом и, что наиболее важно, в рамках единого государственного плана научных работ. Таким образом, работы, проводившиеся в одном месте, дополняли и подкрепляли результаты работ, проводившихся в другом месте, создавали предпосылки для более углубленного проведения работ во всех советских центрах фотографической науки, и т. д. Это тем более понятно, что вся работа нашей советской фотографической науки, — независимо, проводилась ли она в Московском, Ленинградском или другом центре, — определялась общей задачей — содействие социалистическому строительству в нашей стране и помощь развитию отечественной кинофотопромышленности. Однако это не исключает необходимости говорить о работе отдельных центров советской фотографической науки, поскольку в каждом центре определялся в той или иной степени тематический круг решаемых проблем, определялся методический подход к решению проблем, определились научные кадры и т. д. Таким образом, целесообразно рассматривать не только развитие и результаты советской фотографической науки в целом, но и работу ее отдельных научных центров.

Одним из наиболее мощных центров советской фотографической науки является Московский центр.

Развитие фотографической науки, как известно, шло по двум руслам, которые условно можно назвать физико-механическим и химическим. В настоящем очерке мы поставили задачу дать краткий обзор работ московских ученых в области второго из указанных направлений, т. е. в области химико-фотографических исследований.

Главными проблемами химического раздела фотографической науки являются следующие:

- 1) теория и технология изготовления и полива фотографических эмульсий и тесно связанная с ней проблема получения фотографической желатины;
- 2) проблема получения и оптимального использования оптических sensibilizаторов, а также изучение механизма оптической sensibilizации светочувствительных слоев;
- 3) фотохимия фотографического слоя (действие света на слой) и проблема скрытого изображения;

4) обработка светочувствительных слоев (проявление, фиксирование, процессы контрастирования и т. д.);

5) получение гибкой подложки (основы) для киноплёнки;

6) разработка процессов цветной фотографии и цветного кино;

7) получение несеребряных светочувствительных слоев;

8) количественный фотографический метод (теория передачи тонов, сенситометрия и др.).

Ниже мы даем краткий обзор работ московских ученых по указанным разделам фотографической науки. В небольшой статье нет возможности, конечно, рассмотреть или даже упомянуть все работы московских ученых по интересующим нас вопросам. Мы ограничились весьма кратким описанием основных направлений работы, не касаясь деталей указанных исследований.

#### ОСНОВЫ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СЛОЕВ

В дореволюционной России фотохимическая промышленность, первой задачей которой является изготовление фотографических светочувствительных слоев, почти не существовала; имелись две-три небольшие фабрики фотопластинок, а основная масса кино- и фотоматериалов импортировалась. Быстрое развитие кино в СССР привело к настоятельной необходимости создания собственной мощной кинофотопромышленности. Было создано несколько крупнейших фабрик киноплёнки, которые должны были удовлетворять растущие в количественном и в качественном отношении потребности советской кинопромышленности; были реконструированы фабрики фотопластинок, заново создана крупная фабрика фотобумаги и т. д. Но вместе с созданием новых фабрик необходимо было разрабатывать технологический процесс на этих фабриках, который до этого вовсе не был у нас известен.

Таким образом, перед советской фотографической наукой встала весьма трудная и весьма ответственная задача — разработка методов изготовления фотографических эмульсий и внедрение их в молодую фотохимическую промышленность. Начало большой и систематической работы в этой области было положено в 1929—1930 гг. в НИКФИ исследованиями К. В. Чибисова с сотрудниками. Совершенно заново была разработана теория синтеза фотографических эмульсий, на основе которой в технологической лаборатории и на полужавской установке НИКФИ разрабатывались производственные условия изготовления различных типов кинофотослоев (В. Я. Михайлов и др.).

К. В. Чибисов с сотрудниками (В. С. Чельцов, Н. В. Макаров и др.) в 1929—1933 гг. выполнил обширную серию исследований по изучению отношений между условиями изготовления фотографических эмульсий и их фотографическими свойствами. Было выяснено в этом аспекте влияние относительного количества подслоя серебра в эмульсии, влияние катиона растворимой бромистой соли, влияние сверхэквивалентного количества бромида, влияние метода осаждения твердой фазы, влияние температурного режима и продолжительности созревания, влияние концентрации основных компонентов на свойства эмульсии и др. Были изучены основные параметры синтеза как аммиачных, так и безаммиачных эмульсий. Изучались технологические параметры смешивания эмульсий с целью получения эмульсий с заданными свойствами (Н. В. Макаров, С. П. Шу-получения эмульсий с заданными свойствами (Н. В. Макаров, С. П. Шу-валов), влияние количества эмульсии на единицу поверхности на свойства светочувствительного слоя и т. д. Разрабатывалась специальная



рецептура эмульсий для негативных и позитивных пленок, для фотобумаг и др.

Одновременно с исследованием технологических вопросов была начата разработка теории синтеза фотографических эмульсий, поскольку было очевидно, что без создания надежной теории невозможны решительные успехи в области технологии. Обобщение и критическую оценку ранее известных материалов по указанному вопросу выполнил в нескольких работах К. В. Чибисов, который одновременно изложил последовательную и общую теорию синтеза фотографических эмульсий. После этого К. В. Чибисов совместно с А. А. Михайловой исследовал и выяснил физико-химическую сущность первого и второго созревания эмульсий, показав, что в первом созревании главное значение имеют физические процессы перераспределения твердой фазы (рост эмульсионных кристаллов), в то время как во втором созревании решающее значение имеют физико-химические процессы образования и роста центров светочувствительности на поверхности эмульсионных кристаллов. В это же время А. И. Рабинович и Х. С. Багдасарьян (в Институте имени Карпова) изучали фотохимическое поведение галлоидного серебра без защитного коллоида (без желатин), что позволило понять отдельные стороны процесса очувствления галлоидного серебра при синтезе эмульсий.

Весьма значительной проблемой и наиболее узким местом при синтезе эмульсий оказалась желатина. Как известно, существенная роль желатин при изготовлении эмульсий заключается не только в том, что она является защитным коллоидом и связующей средой, удерживающей галлоидное серебро на подложке, но она принимает также непосредственное и решающее участие в очувствлении к действию света эмульсионных кристаллов. Естественно поэтому, что было уделено значительное внимание методам получения высокоактивной желатин, вопросам правильного использования ее при изготовлении эмульсий и изучению физико-химической природы ее активности. Вопросы природы фотографической активности желатин изучались в НИКФИ (К. В. Чибисов, В. А. Бекунов, А. А. Титов) и в Институте имени Карпова (А. И. Рабинович и А. А. Титов). Методы получения высокоактивной желатин разрабатывались в НИКФИ (В. А. Бекунов) и на Московском желатиновом заводе (Д. И. Вирник и А. В. Смирнов). Весьма важный в практическом отношении вопрос правильного использования желатин в эмульсионном процессе исследовался в НИКФИ (В. А. Бекунов, Н. В. Макаров) и в Центральной лаборатории Союзфото (В. Л. Зеликман).

В начальный период (1931—1936 гг.) изучались отношения между содержанием лабильной серы в желатине и ее фотографической активностью. Исследования В. А. Бекунова в НИКФИ показали, однако (так же как аналогичные исследования, выполненные в Ленинграде), что фотографическая активность желатин не находится в прямой зависимости от содержания в ней лабильной серы. Этот результат и некоторые другие обстоятельства позволили выдвинуть гипотезу, позднее нашедшую экспериментальное обоснование, согласно которой в желатине, помимо веществ, способствующих росту светочувствительности эмульсии, имеются вещества, тормозящие созревание фотографических эмульсий. Содержание тех и других в желатине определяет комплекс ее фотографических свойств.

Весьма интересный вопрос взаимодействия желатин с поверхностью эмульсионных кристаллов изучали А. И. Рабинович и А. А. Титов (1932—1938 гг.). Последний позднее предпринял исследование взаимодействия желатин с ионами серебра, причем в этом исследовании были обнаружены

интересные явления, использованные при построении теории фотографической чувствительности (об этом см. ниже).

Помимо этого, в те же годы (1931—1940) изучались отношения между восстановительной и вуализующей способностью желатин на ее фотографические свойства (В. А. Бекунов), влияние гидролиза желатин на ее фотографические свойства (В. А. Бекунов), влияние бактериальных факторов на физико-химические и фотографические свойства желатин (Л. Н. Скородумов) и др. Значительное внимание было уделено классификациям желатин по признакам ее фотографических свойств (В. А. Бекунов, В. Л. Зеликман, Н. В. Макаров) и разработке стандартов на фотографическую желатин. Из числа технологических работ, относящихся к использованию желатин в фотоэмульсионном процессе, надо указать также на исследование В. Л. Зеликмана (1940 г. и позднее) по дублированию фотоэмульсионных желатиновых слоев.

Помимо вопросов, связанных непосредственно с использованием желатин, продолжалась интенсивная разработка других проблем и частных вопросов технологии изготовления и полива фотографических эмульсий.

Теорию осаждения твердой фазы (теорию эмульсификации) развил С. П. Шувалов (1940 г.). Зависимость форм эмульсионных кристаллов от условий синтеза эмульсий изучали В. С. Чельцов (1932 г.) и В. Л. Зеликман (1940 г.). Те же авторы определили рациональный избыток бромидов в первом созревании эмульсий. Рост эмульсионных кристаллов в первом созревании и зависимость фотографических показателей, в частности разрешающей способности, от гранулометрических характеристик эмульсии изучали К. В. Чибисов и Н. В. Макаров (1935 г.), а также И. М. Килинский (1947 г.).

Значительная доля внимания была уделена изучению процессов промывки фотографических эмульсий при переходе от первого ко второму созреванию. Это объясняется тем, что промывка является одним из узких мест в технологии изготовления фотографических эмульсий; в частности, она обуславливает ряд неопределенностей и неучитываемых факторов, искажающих конечные результаты. Первоначальные экспериментальные материалы по изучению промывки эмульсий получали В. Я. Михайлов (1933 г.) и В. С. Кольцов (1939 г.). Основы расчета этого процесса дал И. М. Федоров (1935 г.). В своей работе А. А. Титов (1940 г.) изложил количественную теорию промывки эмульсий, а позднее, развивая результаты этой работы, предложил новую схему построения технологического процесса изготовления эмульсий (1941 г.). С целью рационализации и даже устранения процесса промывки были предложены различные способы перехода от первого созревания ко второму путем отделения твердой фазы эмульсии от жидкой, например при помощи коагуляции эмульсии после первого созревания (А. О. Кондахчан, Н. В. Макаров, В. Л. Зеликман) или другим, механическим путем (А. А. Титов).

Было уделено внимание также весьма важным в практическом отношении и недостаточно изученным вопросам полива и сушки фотоэмульсионных слоев. Б. В. Дерягин развил теорию, устанавливающую отношения между толщиной эмульсионных слоев, вязкостью наносимой эмульсии, скоростью и температурой полива. Вопросы сушки политых эмульсионных слоев изучал В. С. Кольцов (1935 г.), получивший первоначальные экспериментальные материалы, и в особенности И. М. Федоров (1935 г.), давший количественные расчеты процесса сушки.

Весьма важный в практическом отношении вопрос сохранности фотографических свойств эмульсионных слоев изучался в работах К. В. Чибисова, В. Я. Михайлова, С. М. Соловьева и В. И. Шеберстова. В работах



К. В. Чибисова (1934—1937 гг.) были развиты представления о процессе старения эмульсионных слоев, как продолженном втором созревании фотографических эмульсий. Однако В. И. Шеберстов показал (1950 г.), что этим не исчерпываются практически наблюдающиеся отношения при изменении фотографических свойств при хранении эмульсионных слоев: зачастую наблюдается падение чувствительности, не связанное с ростом вуали и обусловленное не продолженным вторым созреванием, а процессами десенсибилизации, протекающими в эмульсионном слое при его хранении.

Продолжались исследования с целью разработки специальных сортов и типов эмульсионных слоев; в частности, надо указать на работы К. С. Богомолова по разработке пленок для рентгенографии.

Н. И. Кириллов в 1940 г. предложил и теоретически обосновал непрерывный процесс изготовления фотографических эмульсий.

Параллельно всем указанным технологическим работам продолжались исследования теории синтеза фотографических эмульсий, проводившиеся в НИКФИ К. В. Чибисовым, А. А. Титовым и А. А. Михайловой и приведшие в последнее время к весьма интересным выводам. В этих работах были выполнены микроаналитические исследования веществ, образующихся при повышенных температурах в результате взаимодействия желатинны с азотнокислым серебром, с одной стороны, и с твердой фазой эмульсии (с эмульсионными кристаллами), с другой стороны. Исследования привели к выводу, что в процессе созревания фотографических эмульсий вначале образуются серебрино-желатиновые комплексы, которые в дальнейшем, при действии повышенной температуры, распадаются с выделением сернистого и металлического серебра, причем выделение этих двух продуктов протекает по различным кинетическим законам: сернистое серебро выделяется с затухающей во времени скоростью, а металлическое серебро образуется по автокаталитическому закону. Сопоставление данных микроаналитических измерений с характером изменения фотографических свойств эмульсии во времени показало, что нет отчетливой связи между количеством образующегося при созревании сернистого серебра и фотографическими свойствами эмульсии, на основании чего был сделан вывод, что сернистое серебро в образовании центров светочувствительности играет не главную, а подчиненную роль. В противоположность этому, наблюдается известный параллелизм между количеством металлического серебра, выделенного на эмульсионных кристаллах при созревании, и фотографическими свойствами эмульсии, что позволило авторам сделать вывод, что центры чувствительности состоят из металлического, но не сернистого серебра.

Значение сернистых соединений для роста светочувствительности эмульсий и для фотографической активности желатинны, впрочем, остается бесспорным, поскольку работы В. А. Бекунова и других авторов показали, что введение некоторых сернистых соединений в желатину (или в эмульсию в известные стадии ее созревания) заметно увеличивает скорость роста фотографической чувствительности. Механизм действия сернистых соединений в процессе созревания, однако, остается недостаточно выясненным и требует дальнейшего исследования.

#### ОПТИЧЕСКАЯ СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЭМУЛЬСИОННЫХ СЛОЕВ. ГИПЕРСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ. ДЕСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ

Современные фотографические эмульсионные слои, за редкими исключениями, содержат оптически сенсibilизаторы, назначением которых является обусловление поглощения серебра к лучам той или иной длины волны, к ко-

торым оно само по себе не чувствительно. Как известно, успехи в области синтеза оптических сенсibilизаторов позволили расширить зону спектральной чувствительности фотоземulsionных слоев за пределы видимой части спектра в длинноволновом направлении до 1300 м $\mu$  и более. Значение оптической сенсibilизации для современной фотографии и кинематографии трудно переоценить. Достаточно сказать, что ни один метод цветной фотографии невозможен без оптически сенсibilизированных слоев. Черно-белая художественная, документальная и научная кинематография также существенно нуждаются в оптически сенсibilизированных материалах. В связи с этим, в настоящее время оптически сенсibilизированные кинофотослои необходимы почти во всех случаях практической съемки.

Естественно, что советская кинофотопромышленность уже в начальный период своего развития предъявила научным работникам требования синтеза необходимого ассортимента оптических сенсibilизаторов. Первые опыты в этом направлении были проведены Б. Т. Толстогузовым, в дальнейшем, в период с 1929 по 1933 г., эта работа с успехом была продолжена в НИКФИ М. Н. Шукиной, В. А. и Н. А. Преображенскими, А. Ф. Вомпе, М. И. Кабачником и др. Первоначальной задачей являлось воспроизведение синтеза наиболее важных сенсibilизаторов, известных по зарубежным литературным и патентным данным и по отдельным образцам, имевшимся в СССР. По ничтожным количествам имевшихся импортных препаратов было проверено и в некоторых случаях заново установлено их строение, после чего были воспроизведены и частично заново разработаны методы синтеза наиболее важных для того времени ортохроматических, панхроматических и инфрахроматических сенсibilизаторов.

Дальнейшая работа по синтезу оптических сенсibilизаторов успешно проводилась (с 1932 г.) и проводится в настоящее время в органико-синтетической лаборатории НИКФИ под общим руководством И. И. Левкоева при ближайшем участии Н. Н. Свешникова, З. П. Сытник, А. Ф. Вомпе, С. В. Натансон и др. В этой работе было синтезировано большое число совершенно новых оптических сенсibilизаторов различных классов. Изучалось сенсibilизирующее действие фталевых красителей и многих групп цианиновых, мрамцианиновых и роданицианиновых красителей. В результате этой весьма обширной по объему работы, а также в результате работы, успешно протекавшей под руководством А. И. Киприанова в Харькове и Киеве (необходимо отметить творческое сотрудничество двух научных центров по синтезу оптических сенсibilизаторов — Московского и Украинского), отечественная кинофотопромышленность не только была полностью освобождена от импорта сенсibilизаторов, но и получила ряд красителей, обладающих заметно большей эффективностью, чем зарубежные продукты. Большая работа в этой области была проведена также И. Л. Куныным и А. К. Шиллегодским.

В указанных исследованиях не только были разработаны методы синтеза практически важных сенсibilизаторов, но и накоплен обширный материал по отношениям между строением и сенсibilизирующей способностью красителей изученных классов, что представляет не только научный интерес, но и позволяет заметить пути изыскания еще более эффективных сенсibilизаторов.

Значительное внимание было уделено исследованию физико-химического механизма оптической сенсibilизации. Работы в этом направлении проводились в НИКФИ и в Институте имени Карпова.

А. И. Рабинович, Х. С. Багдасарьян и С. В. Натансон в 1932—1938 гг. исследовали адсорбцию различных красителей на бромистом серебре и



установили, что необходимым (но недостаточным) условием сенсibilизирующего действия красителя является его адсорбция на эмульсионном кристалле. При этом было установлено, что область насыщения адсорбции соответствует образованию примерно мономолекулярного слоя красителя, что соответствует также оптимальному сенсibilизирующему действию. Дальнейшая адсорбция, которая может происходить, связана с образованием агрегированного состояния красителя. С. М. Соловьев в 1945 г. определил некоторые отношения между строением и адсорбцией цианидных красителей.

Весьма интересный вопрос о причинах несовпадения максимума поглощения растворенного красителя и максимума сенсibilизации исследовала С. В. Натансон (1937 г.). Она показала, что сенсibilизаторы, адсорбированные на тонких слоях возогнанного бромистого серебра, обладают спектром поглощения, полностью совпадающим со спектром чувствительности фотослоев, сенсibilизированных этими красителями.

Вопрос молекулярного состояния сенсibilизирующих красителей как в растворах, так и на некоторых поверхностях исследовали С. М. Соловьев и С. В. Натансон (1945—1947 гг.). Они обнаружили множественность агрегатной структуры красителей в растворах, что сопровождается изменением окраски. Наличие электролитов и лиофильных коллоидов в растворах красителей, а также осаждение красителей на некоторых поверхностях (на стекле или на бромистом серебре) приводит к появлению дополнительной полосы поглощения в длинноволновой части спектра, что обусловлено агрегацией красителя.

В связи с образованием агрегированных состояний красителей на поверхности галоидного серебра находится, как известно, весьма важное в практическом отношении явление сенсibilизации второго рода. Влияние строения тио- и селенакарбоцианинов на склонность к сенсibilизации второго рода исследовали И. И. Левкоев и С. В. Натансон (1947 г.). Они показали, что способность исследованных красителей к такой сенсibilизации зависит от природы и положения замещающих групп в гетероостатках и полиметиновой цепи. Значительно влияет на эту способность также природа алкильных групп при атомах азота красителей.

Фотохимический механизм реакции разложения оптически сенсibilизированного галоидного серебра исследовали Я. И. Бокник, Х. С. Багдасарьян, С. М. Соловьев и П. А. Ямпольский.

Я. И. Бокник и З. А. Ильина (1933—1938 гг.) подтвердили ранее найденный результат, что выход сенсibilизации заметно больше единицы, т. е. что одна молекула сенсibilизатора способствует разложению многих молекул галоидного серебра. Квантовый выход фотолиза оптически сенсibilизированного бромистого серебра исследовали Х. С. Багдасарьян (1938 г.), С. М. Соловьев и П. А. Ямпольский (1947 г.).

Взаимодействие оптических сенсibilизаторов с ионами серебра исследовала С. В. Натансон (1947 г.). Она нашла, что многие основные красители легко образуют в водном растворе комплексы с ионами серебра. Эти комплексы распадаются уже в темноте с выделением металлического серебра, что приводит к вуалирующему действию данных красителей в эмульсии. Это явление, однако, не связано непосредственно с оптической сенсibilизацией.

Практические вопросы восприимчивости фотографических эмульсий к оптической сенсibilизации исследовали К. В. Чибисов, Н. В. Макаров и др.

Цикл работ, связанных с изучением механизма гиперсенсibilизации, провел Я. И. Бокник (1931—1933 гг.).

Работы по десенсibilизации проводились в синтетической лаборатории НИКФИ (И. И. Левкоев, М. А. Атабекова, И. Н. Горбачева), в части расшифровки строения и синтеза наиболее важных в практическом отношении десенсibilизаторов. Была проведена работа также по исследованию зависимости между строением и десенсibilизирующими свойствами 1-алкил-2-стирилхинолиновыми производными (1935 г.) и было исследовано десенсibilизирующее действие некоторых флавинодиолов (1939 г.). Десенсibilизирующее действие оптических сенсibilизаторов при избытке ионов брома исследовали Я. И. Бокник и В. А. Смирнова (1937 г.).

Монографию по оптической сенсibilизации опубликовал Я. И. Бокник (1937 г.).

#### ФОТОХИМИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО СЛОЯ И ТЕОРИЯ СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Главное внимание московских ученых было направлено на разрешение проблем, близко связанных с практическими запросами промышленности (теория и технология синтеза фотографических эмульсий, синтез и изучение оптических сенсibilизаторов и других органических продуктов, теория и технология изготовления эфирцеллюлозной основы киноплёнки, процессы обработки кинофотослоев и др.); в области изучения фотохимии фотографического слоя и теории скрытого изображения московские ученые дали сравнительно небольшое число исследований (первенствующее место здесь занимают ленинградские ученые).

Исследования под микроскопом разложения кристаллов бромистого серебра под действием света без проявления проводил К. В. Чибисов в 1923—1928 гг. При этом отчетливо наблюдался дискретный характер разложения: почернение начиналось от отдельных точек и постепенно распространялось на все зерно.

Фотохимические свойства галоидного серебра без защитного коллоида и без фотографического проявления изучали А. И. Рабинович и Х. С. Багдасарьян (1934 г.).

Механизм процессов фотолиза оптически сенсibilизированного галоидного серебра изучался в работах Х. С. Багдасарьяна, Я. И. Бокника, С. М. Соловьева и П. А. Ямпольского. Об этих работах мы уже говорили в предыдущем разделе статьи.

Внутренний фотоэлектрический эффект при освещении галоидного серебра изучали А. И. Рабинович (1922 г.) и Б. У. Баршевский (1942—1949 гг.). Последний, в частности, обнаружил, что положение максимума спектрального распределения фотоэффекта зависит от толщины монокристалла, а коэффициент поглощения увеличивается с уменьшением толщины кристалла.

Экспериментальное исследование характеристических уравнений выполнили К. В. Чибисов и А. А. Михайлова (1937 г.), а С. П. Шувалов (1936—1938 гг.) впервые попытался дать аналитическое выражение характеристической кривой фотографического слоя, исходя из предположения об одинаковой удельной светочувствительности отдельных эмульсионных кристаллов и подсчета вероятности попадания критического числа квантов света на отдельный кристалл при известном количестве квантов, падающих на единицу поверхности слоя. Х. С. Багдасарьян (1946 г.) дал вывод уравнения характеристической кривой, исходя из некоторых теоретических предпосылок.

Новые данные о природе фотографической чувствительности получили К. В. Чибисов, А. А. Титов и А. А. Михайлова; на результатах



этих работ мы уже останавливались в разделе изготовления фотографических эмульсий. В этих же работах были даны некоторые дополнения к теории скрытого изображения.

Законы образования фотографического изображения при действии рентгеновых лучей изучал К. С. Богомолов.

Обзоры работ по теории скрытого изображения дали К. В. Чибисов (1930 г.) и А. С. Хейнман (1940 г.).

#### ФОТОГРАФИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ И ДРУГИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ КИНОФОТОСЛОЕВ

Процессам обработки кинофотослоев, в первую очередь фотографическому проявлению, московские ученые в своих работах уделили значительное внимание, что, несомненно, связано с большим практическим значением этих процессов.

Пионером исследований теории фотографического проявления явился Н. А. Шиллов, который в 1912—1915 гг. вместе со своими учениками (Я. М. Катусhev и др.) опубликовал серию классических работ, посвященных исследованию процессов окисления сульфитсодержащих органических проявителей и не потерявших значения до настоящего времени. Опираясь на развитую им ранее теорию, Н. А. Шиллов показал, что окисление сульфитсодержащих проявителей является сопряженной реакцией, где проявляющее вещество играет роль индуктора, а сульфит — роль акцептора. Эти работы позволили в значительной степени разъяснить роль сульфита при хранении проявляющих растворов и объяснить также ряд фактов, известных из фотографической практики.

Работы по теории фотографического проявления позднее были продолжены в другом направлении К. В. Чибисовым, который в 1925—1928 гг. при помощи кинематографической камеры исследовал под микроскопом проявление отдельных эмульсионных кристаллов. Это исследование дало возможность наблюдать динамику проявления отдельных кристаллов и констатировать ряд интересных в теоретическом отношении явлений (распространение проявления от отдельных точек — центров проявления, образование протуберанцев металлического серебра на поверхности и внутри проявляемого зерна, толчки проявляемого кристалла, вызванные бурным протеканием процессов его проявления, и др.). Качественно было отмечено, что эмульсионный кристалл проявляется по автокаталитическому закону.

Микрофотографические исследования проявления отдельных кристаллов проводили позднее также А. И. Рабинович и его сотрудники (1938—1942 гг.). В этих исследованиях был количественно показан автокаталитический характер проявления кристалла и полученные отношения выражены в виде экспоненциальной функции радиуса проявленной зоны зерна от времени.

Как в теоретическом, так и в практическом отношении наиболее существенным в процессе проявления является его избирательный характер, заключающийся в более быстром проявлении экспонированных участков слоя по сравнению с участками, не подвергавшимися действию света. Для количественной характеристики указанного свойства В. И. Шеберстов (1933 г.) ввел понятие «степень избирательного действия» проявителя и проследил влияние различных факторов на эту величину (1933—1939 гг.).

Вопрос физико-химического механизма избирательного действия проявителя, сводящийся к механизму каталитического действия частиц скры-

того изображения и серебра частично проявленного зерна, изучали А. И. Рабинович, П. Д. Данков, Х. С. Багдасарьян, В. И. Шеберстов.

А. И. Рабинович выдвинул и экспериментально исследовал (1931—1942 гг.) адсорбционную теорию проявления, согласно которой проявляющее вещество адсорбируется на серебре скрытого изображения, что приводит к увеличению концентрации проявляющего вещества около экспонированных эмульсионных кристаллов и к увеличению скорости их проявления.

П. Д. Данков (1939—1949 гг.) рассматривает проявление как электрохимическую реакцию, состоящую из анодного и катодного процессов. Анодным процессом является переход электрона от молекулы проявляющего вещества на поверхность металлического серебра, катодным процессом — разряд ионов серебра из раствора на металлическом серебре.

Электрохимическую теорию проявления развил также Х. С. Багдасарьян (1943—1945 гг.). Он истолковал кинетику физического и химического проявления отдельного кристалла, допустив, что наиболее медленной стадией при проявлении является переход электрона из молекулы проявляющего вещества на серебряную частицу скрытого изображения или частично проявленного кристалла, причем скорость этого процесса зависит от величины скачка потенциала на границе между серебром и раствором. Далее тот же автор вывел новое уравнение для кинетики образования зародышей при топохимических реакциях и, прилагая это уравнение к проявлению фотографического слоя, объяснил характерную форму кривой проявленного слоя.

Каталитическое действие серебра при окислении проявляющих и не проявляющих изомеров оксаминпроизводных бензола изучали В. И. Шеберстов и Г. Е. Шеберстова (1947 г.). Они обнаружили, что серебро катализирует окисление только пара- и ортопроизводных, в то время как метапроизводные, а также соединения с одной окси- или аминогруппой окисляются с одинаковой скоростью как при наличии серебра, так и в его отсутствие. Таким образом, наблюдалась аналогия с известными отношениями между строением и проявляющей способностью органических соединений. На основании полученных экспериментальных материалов авторы делают вывод, что действие катализатора проявляется в стадии потери электрона проявляющим веществом.

Температурные зависимости проявления фотографического слоя и созревания фотографической эмульсии, а также соответствующие энергии активации определили Ц. С. Арнольд и А. А. Титов (1950 г.).

Монографию, посвященную химии фотографических проявителей и проявления, опубликовал В. И. Шеберстов (два издания: 1933 и 1941 гг.).

Помимо теоретических исследований, была проведена обширная работа по практическим вопросам проявления.

В 1928—1932 гг. К. В. Чибисов и В. С. Чельцов опубликовали серию работ по сенситометрическим исследованиям фотографических проявителей. Сравнительное исследование фотографических свойств проявляющих веществ выполнили В. И. Шеберстов и Ю. И. Букин (1932 г.). Вопросы рациональной рецептуры проявителей рассматривали К. В. Чибисов (1928 г.) и В. И. Шеберстов (1933 г.). Свойства смешанных проявителей изучали К. В. Чибисов и В. С. Чельцов (1928 г.), а также В. И. Шеберстов и Ю. И. Букин (1932—1933 гг.). Методы проявления по времени исследовал В. С. Чельцов (1930 г.). Свойства наиболее употребительных проявляющих веществ и методы их получения и анализа описал Н. И. Кириллов (1933—1935 гг.).

Н. И. Кириллов уделил значительное внимание (1940—1947 гг.) разработке и обоснованию непрерывных процессов обработки кинофотослоев.



Результаты работ в этой области он обобщил в монографии «Теория непрерывных процессов обработки светочувствительных слоев» (1948 г.).

Н. И. Кириллов много работал также над методами анализа проявителей и фиксажей, а также вообще над методами химического контроля в процессе проявления (монография, 1945 г.). Он же занимался вопросами промывки кинофотослоев после фиксирования (1948 г.).

Весьма важный в практическом отношении вопрос многократно повторного контратипирования фильмов изучали К. И. Мархилевич, С. М. Антонов, Ю. И. Букин и др.

Значительное внимание было уделено вопросам, непосредственно относящимся к режиму обработки пленки в кинематографических предприятиях; в частности, были разработаны и внедрены в производство рациональные рецепты проявителей, разрабатывались методы мелкозернистого проявления, велась работа по регенерации проявителей и фиксажей, по обработке фонограммы кинопленки и др.

Несколько особняком стоят работы, посвященные действию паров ртути на фотографические слои. Е. А. Иофис (1938 г.) пытался использовать этот эффект для практических целей гиперсенсibilизации кинопленок, В. Я. Михайлов (1940—1944 гг.) изучил действие некоторых факторов на указанный способ гиперсенсibilизации, а В. И. Шеберстов (1946 г.) исследовал вопрос с физико-химической точки зрения, высказав новую теорию гиперсенсibilизирующего действия ртути на фотослой.

#### ПОЛУЧЕНИЕ ГИБКОЙ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ КИНОПЛЕНКИ

Создание и развитие отечественной кинопленочной промышленности поставило перед советскими учеными задачу — разработать методы изготовления основы кинопленки, т. е. гибкой подложки, на которую наносится светочувствительный фотографический слой. Эта задача с успехом разрабатывалась главным образом в лаборатории технологии пленки НИКФИ, с момента организации этого института (1929 г.) по настоящее время. Помимо решения технологических задач изготовления соответствующих эфирцеллюлозных пленок, лаборатория уделила серьезное внимание разработке теории вопроса, что позволило ей вносить те или другие рационально обоснованные коррективы в технологический процесс.

В области теории высокополимерных соединений, к которым относятся и эфирцеллюлозные пленки, советские ученые достигли блестящих успехов. Мы не можем, однако, за недостатком места, останавливаться здесь на этих работах, хотя они оказали решающее влияние на работы в рассматриваемой нами области. Мы остановимся только на тех работах, которые были непосредственно связаны с получением эфирцеллюлозных гибких подложек для кинофотопленок.

В основу теоретических исследований, проводившихся под руководством П. В. Козлова, было положено воззрение, сводящееся к экспериментально установленному советскими учеными характеру строения высокополимеров, как веществ, обладающих в большинстве случаев аморфной (жидкостной) структурой.

Рентгено- и электрографические исследования нитроцеллюлозных пленок, выполненные П. В. Козловым и Р. В. Зуевой (1940—1947 гг.), показали, что обычные технические пленки обладают типичной картиной аморфных тел. Те же авторы установили три типа структуры пленок, отличающиеся степенью ориентации цепей эфиров целлюлозы и их звеньев. В. А. Каргин, П. В. Козлов и Р. В. Зуева (1943 г.) подробно изучили

структурные превращения пленок и пришли к заключению, что предельно равновесной является структура, отвечающая полностью дезориентированному состоянию цепей эфиров целлюлозы и их звеньев. Все другие структуры при повышенной температуре переходят в этот указанный тип структуры (процесс релаксации), что в практическом отношении связано с усадкой пленки.

В. А. Каргин и П. В. Козлов (1940 г.), на основании исследований структуры технических пленок, установили, что происходит два процесса релаксации: релаксация отдельных звеньев в цепях и релаксация цепей. Они указали, что эти два процесса не равноценны и что процессы упругой деформации, имеющие существенное практическое значение, обусловлены релаксацией звеньев цепей. Исследование релаксационных явлений в эфирцеллюлозных пленках позволило также установить основные факторы, от которых эти явления зависят.

Высокополимерные соединения при обычных температурах, согласно современным представлениям, находятся в стеклообразном состоянии. Работы В. А. Каргина (1945 г.) позволили перенести представления о стеклообразном состоянии вещества на целлюлозу и ее производные, что в свою очередь дало возможность П. В. Козлову развить эти взгляды на понимание сущности процесса пленкообразования при изготовлении основы кинопленки и сделать некоторые практически важные выводы.

Исследования процесса пленкообразования, выполненные П. В. Козловым и Р. В. Зуевой (1941—1947 гг.), показали, что в зависимости от скорости удаления летучих компонентов из эфирцеллюлозного раствора и условий подвижности цепеобразных молекул могут быть получены пленки, различно ориентированные по структуре. Используя в качестве методов исследования двойное лучепреломление пленок и дифракцию рентгеновых лучей, а в качестве объектов исследования нитро-, ацетил-, бензил- и этилцеллюлозные пленки, указанные авторы подробно исследовали структуру пленок, подвергнутых быстрым деформациям и последующему воздействию высоких температур.

Была подробно изучена также зависимость механических свойств эфирцеллюлозных пленок от их структуры, скорости деформации и температуры.

Помимо указанных выше работ теоретического характера, был выполнен большой объем научно-технологических работ.

Были изучены различные эфиры целлюлозы, а также некоторые другие высокополимеры, с целью отбора оптимального материала для изготовления основы кинопленок. Значительное внимание было уделено, помимо нитроцеллюлозы, также ацетилцеллюлозе и процессу изготовления ацетилцеллюлозных невоспламеняющихся пленок. С целью улучшения механических показателей изучались возможности примешивания нитроцеллюлозы к ацетатным пленкам (И. О. Гольдман и Ф. С. Шерман).

Были изучены растворители и была разработана рецептура эфирцеллюлозных растворов, причем исследовались зависимости механических и других свойств готовой пленки от состава растворов. Особое внимание уделялось изучению функций пластификаторов в эфирцеллюлозных пленках и выбору оптимальных пластификаторов (П. В. Козлов, Е. К. Подгодецкий). Были разработаны методы химического анализа как сырья, так и готового продукта при производстве основы кинопленки (И. О. Гольдман, Р. В. Зуева и др.). Изучался весь технологический процесс изготовления основы по всем его производственным стадиям, и в связи с этим проводилась работа по установлению оптимальных производственных режимов и по изучению и разработке соответствующего оборудования



(Е. К. Подгородецкий, И. О. Гольдман, Б. А. Кнаппе, А. Е. Ивонин и др.).

Детально были изучены процессы старения растворов эфиров целлюлозы (И. О. Гольдман) и в особенности эфироцеллюлозных пленок (П. В. Козлов с сотрудниками, А. Я. Дринберг). Из отдельных факторов, влияющих на процесс старения пленок, изучалось действие тепла, света, влияние пластификаторов, влияние различных примесей в пленках и др.

Помимо самой эфироцеллюлозной пленки, изучались также вспомогательные слои, наносимые на нее (подслой и антистатические лаки), способы их изготовления и нанесения, свойства и влияние на механические и другие показатели пленки в целом. П. В. Козлов и Е. К. Подгородецкий изучали механизм склеивания фотографической эмульсии с основой, а также влияние характера поведения коллоксилинов и пленок в компонентах кислого подслоя на эффект его действия. Электризацию кинопленки и методы устранения электризации путем покрытия пленки лаками изучал Е. К. Подгородецкий с сотрудниками.

Серия работ была посвящена изучению физико-механических характеристик фильма в процессе его эксплуатации (П. В. Козлов, Л. И. Сажин, И. М. Фридман и др.). Изучались физико-механические свойства фильма как многослойной системы, изменения физико-механических свойств фильма в процессе фотографической обработки, в процессе кинопроявки и др. Эти работы позволили установить причины износа фильма при его эксплуатации и установить мероприятия, необходимые для повышения сроков жизни фильма.

Следует отметить интересные исследования, выполненные П. В. Козловым и И. М. Фридманом по изучению фильма, как многослойной системы (в первом приближении — двуслойной системы: основа и эмульсионный слой). Эти исследования показали, что свойства такой многослойной системы не являются результатом аддитивного эффекта свойств отдельных слоев, даже с учетом толщины этих слоев.

Стоящий несколько особняком вопрос получения ферромагнитной пленки для записи звука на эфироцеллюлозной основе изучал Е. К. Подгородецкий.

Научное обобщение материалов отечественных и зарубежных работ по вопросам изготовления эфироцеллюлозных пленок для кинематографических и фотографических целей дал П. В. Козлов в двух монографиях.

#### ЦВЕТНАЯ ФОТОГРАФИЯ И КИНЕМАТОГРАФИЯ. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА НЕСЕРЕБРЯНЫХ СЛОЯХ. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

В заключение нашего обзора мы должны коротко остановиться на химико-фотографических исследованиях в области цветной фотографии и кинематографии, на разработке фотографических процессов на несеребряных слоях и, наконец, на работах, связанных с количественным выражением фотографических свойств фотоэмульсионных слоев, т. е. на разработке количественного фотографического метода.

1. Работы по цветной кинематографии в Москве велись вначале (1930—1934 гг.) в области аддитивного метода (Н. Д. Анощенко). Однако исследования показали, что на этом пути невозможно добиться решающих успехов, и внимание было переключено на разработку субтрактивных методов получения цветных изображений.

Из субтрактивных методов первоначальные практические успехи были достигнуты в двухцветном выражном способе окраски двусторонней

пленки. По этому способу было выпущено несколько полнометражных цветных фильмов (в частности, фильм «Груня Корнакова» в 1937 г.). Исследовательские работы по указанному способу проводились в период 1930—1938 гг. в НИКФИ и в студии Детфильм (Н. Н. Агонас, А. Н. Иорданский, Ф. Ф. Проворов).

Двухцветный способ, однако, по понятным причинам обладает принципиально ограниченными возможностями цветопередачи. Поэтому уже с 1930 г. в Москве началась разработка различных трехцветных субтрактивных способов получения цветных изображений. На Мосфильме и в НИКФИ разрабатывался гидротипный метод с использованием как хромированных желатиновых слоев для матриц (П. М. Мершин), так и бромосеребряной матричной пленки (в работах принимали участие В. И. Успенский, А. Н. Иорданский, В. Г. Рудаков, С. В. Тихонович и др.). Научное исследование гидротипного способа с точки зрения физико-химических процессов, протекающих в нем, изучали в последнее время А. В. Бромберг и К. В. Чмутов.

В период 1937—1941 гг. в НИКФИ с успехом разрабатывался способ с использованием обесцвечивания красителей в многослойной пленке (обесцвечивание красителей, пропорциональное количеству серебра, выделяющегося при фотографическом проявлении). Механизм этого процесса рассмотрели в своих исследованиях Г. И. Арбузов и Д. М. Самойлович.

С 1938 г. в НИКФИ проводились работы по многослойному методу получения цветных изображений с использованием принципа цветного проявления и цветообразующих компонент, закрепленных в отдельных эмульсионных слоях пленки (В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, Г. И. Арбузов, К. Л. Мертц и др.). К началу 1945 г. принципиальная разработка метода была закончена, что позволило в дальнейшем (1945—1947 гг.) советским ученым и специалистам быстро освоить процессы изготовления и обработки многослойных цветных пленок в производственных масштабах.

2. Фотографические процессы на несеребряных слоях, а именно процессы диазотипии, разрабатывались в органично-синтетической лаборатории НИКФИ под руководством И. И. Левинова при ближайшем участии В. П. Петрова и Н. Н. Свешникова (1934—1937 гг.). Указанные авторы исследовали светочувствительность диазонпроизводных аминафтазов, дифулкампинов, диалкиларафенилдиаминов и некоторых других соединений. В результате выполненной работы были установлены определенные закономерности по отношению между строением и светочувствительностью диазосоединений и указаны пути использования некоторых из исследованных веществ для получения фотографических слоев.

3. Работы в области количественного фотографического метода относятся к химико-фотографическим исследованиям лишь косвенно и мы остановимся на них *кратчайшим* образом.

С развитием отечественной кинофотопромышленности потребовалось разработать простые, удобные и точные методы измерения фотографических свойств светочувствительных слоев. Это в свою очередь явилось стимулом к постановке некоторых теоретических работ.

Исследования проводились по всем разделам количественного фотографического метода: сенситометрические источники света, приборы для дозирования освещенности слоев и для измерения оптических плотностей, выбор оптимальной системы сенситометрии, теория передачи тонов в теории цветопередачи, сенситометрия отдельных производственных процессов и т. д.

Из отдельных направлений научных исследований в области количественного фотографического метода, выполнявшихся Московскими



учеными, надо указать следующие: исследования точности сенситометрического метода (К. В. Чибисов и Г. С. Баранов), разработка детализметрического метода определения фотографических свойств (Г. С. Баранов), разработка методов сенситометрии процессов цветной фотографии и разработка теории цветопередачи в этих процессах (Н. Д. Ньюберг, Н. С. Овечкин, Г. С. Баранов), сравнительные испытания различных сенситометрических систем и отдельных деталей их (Д. А. Сольский, А. И. Рабинович, Г. С. Баранов, И. М. Килинский).

Обобщение материалов отечественных и зарубежных работ по общим и частным вопросам количественного фотографического метода было дано в монографиях К. В. Чибисова («Теория фотографических процессов», т. 1. «Количественный фотографический метод», 1935) и Г. С. Баранова («Вопросы теории фотографического воспроизведения», 1949), а также в книге Д. А. Сольского и В. И. Шеберстова («Практическая сенситометрия», 1937).

Г. П. ФАЕРМАН

## РАБОТЫ ЛЕНИНГРАДСКИХ УЧЕНЫХ В ОБЛАСТИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла неограниченные возможности развития отечественной науки, в частности — научной фотографии.

Хотя среди немногих работ в области научной фотографии, выполненных в дореволюционном Петербурге, были оригинальные и значительные исследования, например работы С. О. Максимовича, все же можно сказать, что начало развития научной фотографии в России хронологически совпадает с Октябрьской революцией.

Уже весной 1918 г. по инициативе группы ученых и специалистов-практиков в области фотографии (Д. И. Лещенко, А. А. Поповичко, В. Я. Курбатова, И. И. Жукова, С. О. Максимовича, В. И. Срезневского и др.) декретом Советского Правительства был учрежден в Петрограде Высший институт фотографии и фототехники (ВИФиФ), позднее реорганизованный в Ленинградский институт киноинженеров (ЛИКИ). Это было первое научно-учебное учреждение в России, ставившее своей целью развитие фотографической науки и техники, а также подготовку кадров для этой цели.

В 1926 г., по инициативе Д. С. Рождественского, в составе Государственного оптического института (ГОИ) был создан фотографический отдел, во главе которого стал Т. П. Кравец. Назначением отдела было научное обслуживание зарождавшейся советской фотографической промышленности. В 1929 г. по замыслу А. Е. Ферсмана в Ленинграде был учрежден Институт аэрофотосъемки (ныне ЦНИИГАиК в Москве). Лаборатории возникших промышленных предприятий сыграли большую роль в развитии советской фотографической техники. В рамках данной статьи невозможно описать все выполненное в упомянутых учреждениях. Здесь дается только краткий очерк главнейших достижений ленинградских ученых.

### 1. Работы в области скрытого фотографического изображения

В 1928 г. Т. П. Кравец первый высказал мысль, что существует далеко идущая аналогия между образованием скрытого фотографического изображения и явлением окрашивания кристаллов хлористого натрия при освещении их ультрафиолетовыми и рентгеновскими лучами. Незадолго перед тем М. В. Савостьянова, работавшая под руководством Т. П. Кравца в Физическом институте Академии Наук СССР, исследовала природу



этой окраски и показала, что поглощение ультрафиолетовых лучей вызывает фотодиссоциацию хлористого натрия и образование коллоидных частиц металлического натрия, окрашивающих кристалл. Т. П. Кравец считал, что поглощение видимых лучей может вызывать аналогичный процесс в кристаллах бромистого серебра эмульсионного слоя. Возникающие при этом коллоидные частицы серебра представляют собой центры скрытого изображения. Изображение остается невидимым потому, что кристаллики бромистого серебра малы, и малое число образующихся центров недостаточно для того, чтобы вызвать заметную для глаза окраску. Эта мысль послужила отправной точкой для большого числа работ, осуществленных в последующие годы, и не только предшествовавших подобным работам на Западе (первые работы Поля появились только в 1930 г.), но и правильнее осветивших сущность явления, поскольку с самого начала центрами скрытого изображения стали считать коллоидные частицы, а не атомы серебра, как это делал Поль. В результате указанных работ изложенная выше точка зрения получила прочное экспериментальное подтверждение и сделалась общепринятой в науке.

Развивая идею Т. П. Кравца, его сотрудники — М. В. Савостьянова, С. В. Чердынцев, А. С. Топорец, П. В. Мейкляр и другие смогли объяснить сущность многих фотографических эффектов. Было показано, что исчезновение фотографического изображения под действием красных и инфракрасных лучей, так называемый эффект Гершеля, заключается в «раскалывании» коллоидных частиц серебра, включенных в решетку бромистого серебра. Представлявший загадку эффект Вейгерта, заключающийся в оптической анизотропии фотографического изображения, вызванного поляризованным светом, также был объяснен в работах С. В. Чердынцева как частный случай того же явления. Эффект Шварцшильда при фотодиссоциации кристаллов несколько позже обнаружил и исследовал П. В. Мейкляр.

Интересную теорию механизма образования скрытого изображения предложили Я. И. Френкель и В. Анастасевич. Эта теория основывалась на представлениях Я. И. Френкеля о механизме прохождения тока через полупроводники.

## 2. Работы по технологии фотографических эмульсий и желатины

Работы в этом направлении были начаты в 1929 г., когда Ленинградский желатиновый завод впервые приступил к производству фотографической желатины и его технический руководитель Б. Г. Славин обратился в ГОИ за научной консультацией и помощью.

Среди многочисленных работ, выполненных в последующие годы, следует упомянуть: использование К. С. Ляликовым контакта Петрова в качестве метода борьбы с «депрессией» желатины; метод определения «депрессии», разработанный Ю. Н. Гороховским; работы по изучению технологического процесса производства желатины, выполненные Г. П. Фаерманом с сотрудниками (в том числе с сотрудниками лаборатории завода) и др. Вместе с тем был выполнен ряд коллоидно-химических работ по методам определения изоэлектрической точки желатины (Г. П. Фаерман), защитному действию желатины (И. Р. Протас, К. С. Амелина) и др.

Одновременно с началом работ по изучению желатины К. С. Ляликов совместно с С. В. Чердынцевым, В. Н. Пискуновой, В. И. Федотовой и И. П. Шишиловым предпринял обстоятельное исследование кристалли-

зационного процесса, происходящего при первом созревании эмульсии, и опубликовал по этому вопросу серию статей.

Ю. Н. Гороховский совместно с сотрудниками ввел в технологическую практику киноплочных фабрик потенциометрический метод контроля концентрации ионов брома и ионов водорода.

И. Р. Протас исследовала синтез фотографических эмульсий при помощи ультразвуковых колебаний и показала, что диспергирование бромистого серебра происходит не под влиянием ультразвука, а в результате вызываемого колебаниями нагревания раствора. Она же с группой сотрудников, пользуясь методом определения кривых распределения эмульсионных микрокристаллов по величине, а также методом определения толщин кристаллов при помощи микроинтерферометра, разработанным П. В. Мейкляром, исследовала зависимость разрешающей способности эмульсий от размеров и формы эмульсионных микрокристаллов.

Ленинградская фабрика фотобумаги, основанная в 1928 г., выросла за годы пятилеток в крупнейшее в СССР предприятие. В ее лаборатории был выполнен ряд серьезных научно-технологических работ.

## 3. Работы по теории и технологии проявления

В 1931 г. Г. П. Фаерман начал серию исследований по вопросам фотографического проявления, в частности по установлению зависимости между составом и свойствами проявителя, а также выяснению функций отдельных его составных частей. Первым было выполнено, совместно с Н. Н. Шишкиной, исследование роли щелочи в проявителе. Было показано, что, вопреки ранее распространенному мнению, работа проявителя не зависит сколько-нибудь существенно от природы входящей в проявителе щелочи. Имеет значение лишь концентрация водородных ионов в проявителе. Изменение этой концентрации вызывает изменение активной концентрации ионов проявляющего вещества. Природа щелочи может обнаруживаться только в том отношении, что различные щелочи, применяемые в проявляющих растворах, обладают той или иной кислотной буферностью. Это сказывается на истощаемости проявителя, а также на некоторых местных эффектах проявления.

На основе этого исследования Г. П. Фаерман и С. И. Чербов разработали общую теорию проявления, названную ее авторами электрохимической.

Представления, положенные в основу этой теории, получили свое развитие и сделались руководящими в ряде дальнейших работ. Так, Г. П. Фаерман и Н. Н. Шишкина предприняли исследования «физического» и «железного» проявителей и доказали единство механизма проявления в различных его вариантах. А. И. Кан-Коган, руководствуясь принципами электрохимической теории, исследовал зависимость свойств проявителя от концентрации проявляющего вещества и установил вытекающую из теории линейную зависимость между оптической плотностью, получаемой за определенное время проявления, и логарифмом концентрации проявляющего вещества. С. Г. Богданов впервые измерил окислительно-восстановительные потенциалы метола и парааминофенола в щелочной области (при различных температурах) и тем дал возможность проверить теорию количественно. Он же показал, что присутствующий в проявителе сульфит, реагируя с окисленной формой проявляющего вещества, поддерживает восстановительный потенциал раствора на низшем уровне, чем и объясняется его консервирующее и повышающее активность органических проявляющих веществ действие. В. А. Вейденбах



доказал, что состав проявителя не влияет на потенциал бромосеребряного электрода, разработал потенциометрический метод определения концентрации ионов брома в проявителе и исследовал вопросы об истощаемости проявителей и методах ее определения. Он исследовал также процессы усиления фотографического изображения. Работа Н. Н. Шишкиной позволила расширить область применения электрохимической теории проявления и объяснить зависимость проявления от температуры. Все эти работы осветили с разных сторон процесс фотографического проявления и дали экспериментальный материал для обоснования и развития положений электрохимической теории.

На существенную зависимость кинетики процесса проявления от диффузионных явлений указал в своей работе Д. А. Франк-Каменецкий.

Указанные работы имели не только чисто познавательный характер. Их практическим последствием явилось создание ряда методов химического контроля процесса проявления. Эти методы были применены И. Б. Блюмбергом при участии С. Г. Богданова и А. И. Симанчука при разработке технологических процессов обработки киноплёнки на киностудии Ленфильм.

#### 4. Работы по сенситометрии кинофотоматериалов

Период времени, продолжавшийся до начала 30-х годов, может быть назван периодом освоения известных ранее методов сенситометрии. В те годы система сенситометрии Хертера и Дрифилда была наиболее совершенной, а лампа накаливания с цветовой температурой 2360° К и в сочетании с жидкостным светофильтром незадолго перед тем была предложена в качестве международного эталона источника света для сенситометрических измерений.

В то же время (1928—1930 гг.) была начата разработка метода измерения разрешающей способности фотографических слоев. Соответствующий прибор — резольвометр был создан Ф. Л. Бурмистровым.

Неудовлетворительность системы Хертера и Дрифилда как для целей контроля качества продукции фабрик фотоматериалов и киностудий, так и в качестве основы для построения экспониметрического расчета выяснилась довольно быстро. Необходимость создания новой системы сенситометрии, удовлетворяющей возникшим требованиям, стала очевидной. В 1935 г., по инициативе Т. П. Кравца, для установления принципов новой советской системы сенситометрии было собрано совещание с представителями Государственного оптического института, Научно-исследовательского кинофотоинститута, Всесоюзного института метрологии, киностудии Мосфильм и некоторых других учреждений. Были выработаны принципы новой системы и было решено осуществлять ее внедрение путем создания специальных приборов, производимых в достаточных количествах промышленностью, с тем чтобы повсюду одновременно были введены одинаковые приборы и тем самым было бы обеспечено строгое единообразие методики и техники испытания.

В результате выполненной работы была создана новая отечественная система сенситометрических испытаний кинофотоматериалов и соответствующая аппаратура. Были разработаны и построены опытные образцы сенситометра (И. А. Черный, М. В. Савостьянов), спектросенситометра (Ю. Н. Гороховский), резольвометра (Ф. Л. Бурмистров), проявительного прибора (В. А. Вейденбах, Г. П. Фаерман, Ю. Н. Гороховский), денситометра (К. А. Вентман, И. В. Пицнер) и сенситометра для испытания фотографических бумаг (С. С. Гилев). Опытные серии этих приборов были

выпущены по чертежам конструкторов Г. И. Киреева, И. А. Тельтевского, Н. П. Мельникова и др. Вся работа была завершена выпуском ГОСТ № 2817—2819-45 на методы фотографической сенситометрии.

Метод спектральной сенситометрии, разработанный Ю. Н. Гороховским и, в начальной стадии, Е. Г. Валяшко, дающий возможность судить о спектральном распределении светочувствительности фотографического материала к излучениям различной длины волны — от 250 до 1000 м $\mu$  и выразить ее в энергетических единицах, открыл ряд новых возможностей и послужил средством исследования многих вопросов научной фотографии.

В данной статье нет возможности остановиться на результатах всех этих работ. Следует отметить исследование спектрального распределения эффекта Гершеля (Ю. Н. Гороховский и С. А. Шестаков), исследование температурной зависимости общей и спектральной чувствительности фотоматериалов (М. В. Савостьянов, Н. В. Лукин, Ю. Н. Гороховский, О. Д. Бартенева), обширное исследование спектральных свойств фотографических материалов в ультрафиолетовой области спектра, выполненное И. И. Брейдо, составление атласа спектральных свойств различных фотографических материалов (Ю. Н. Гороховский и О. Д. Бартенева) и многие другие работы, выполненные при помощи упомянутого выше метода спектральной сенситометрии.

Возможность определять кривую спектральной светочувствительности фотографического материала в энергетических единицах позволила создать методику расчета светофильтров на основе подсчета пропускаемых ими актиничных потоков лучистой энергии.

Работы по расчету светофильтров и в особенности расхождения, наблюдавшиеся при сопоставлении результатов расчета с результатами опыта, послужили толчком к постановке исследований, посвященных вопросу об аддитивности фотографического действия лучей с различной длиной волны. Было показано, что закон аддитивности, предложенный и якобы обоснованный ван-Крефельдом, в действительности не соблюдается. В работе Ю. Н. Гороховского и в особенности П. В. Мейкляра были исследованы причины отклонений от этого закона и дана физическая теория явления.

Наконец, методика спектральной сенситометрии дала возможность поставить и разрешить с количественной стороны ряд вопросов оптической сенсibilизации фотографических слоев. Здесь следует упомянуть работы Ю. Н. Гороховского с сотрудниками по спектральной светочувствительности эмульсий, содержащих различные галогениды серебра и их смеси, по выяснению природы влияния сенсibilизации на собственную светочувствительность фотографических эмульсий, по концентрационному эффекту сенсibilизации и др. Метод дал возможность количественно оценивать действия сенсibilизатора. В связи с работами по исследованию явления сенсibilизации следует упомянуть также об интересной теории механизма оптической сенсibilизации, предложенной П. В. Мейкляром и Б. И. Степановым.

В ЦНИИГАиК были выполнены значительные и оригинальные работы в области практической сенситометрии и теории передачи тонов. Так, С. О. Максимович и С. С. Гилев осуществили оригинальный сенситометр, использующий в качестве источника света естественный солнечный свет. Принцип этого прибора был основан на том факте, что спектральный состав солнечного света на протяжении большей части дня для горизонтальной поверхности остается неизменным. Величина освещенности в плоскости светочувствительного слоя измерялась объективным люксметром с селеновым фотоэлементом. Те же авторы выполнили ряд работ по теории



передачи тонов фотографическим изображением. В. В. Шаронов составил таблицы солнечной освещенности в различные времена года и часы суток на различных широтах. Эти таблицы сыграли существенную роль в решении многих экспонетрических задач. Г. А. Тихов, в сотрудничестве с В. В. Шароновым, Е. Л. Криновым и другими, начал большое исследование по изучению спектров отражения объектов земной поверхности, продолженное в дальнейшем Е. Л. Криновым. Е. Л. Кринов опубликовал полученные им результаты в вышедшей в 1947 г. книге «Спектральная отражательная способность природных образований».

В. А. Фаасу принадлежит интересная монография о светофильтрах и большое количество работ по теории фотографирования (например, по методам расчета и характеристике действия светофильтров, исследованию атмосферной дымки, вопросам освещенности земной поверхности в связи с задачами экспонетрии и др.).

### 5. Работы по цветной фотографии и кинематографии

В 1930 г. в лаборатории научной фотографии ГОИ были начаты работы по изучению и освоению различных, известных тогда способов цветной фотографии. Имелось в виду выбрать тот из них, который можно было бы реализовать и ввести в практику советской фотографии. В результате были выбраны принципы иррегулярного трехцветного растра для цветной фотографии и гидротипная трехцветная печать — для цветного кино.

Способ производства пластинок для цветной фотографии с иррегулярным растром, за последующие несколько лет полностью разработали К. С. Ляликов, Я. И. Блюмберг, А. Я. Смирнов, Н. Н. Дорогин и др., однако промышленной реализации этот способ не получил.

Иначе обстояло дело с гидротипным способом печати цветных кинофильмов.

История развития цветного кино за последние 15 лет показала, что принцип этот, несмотря на всю техническую сложность его, избран был правильно. Действительно, он был технически реализован и в СССР, и за границей, и не потерял своего значения до настоящего времени, несмотря на появление способа многослойной цветной фотографии.

Разработка гидротипного способа, начатая К. С. Ляликовым и Л. П. Крыловым с проб на пластинках, в дальнейшем проводилась на киноплёнке, и в 1936 г., после создания макета машины для печати с матриц, было напечатано первое «кольцо» цветного фильма. В дальнейшем работа проводилась в студии Ленфильм, которая выпустила несколько короткометражных мультипликационных и игровых фильмов, снятых при помощи специальной киносъемочной камеры.

Как только появились первые патенты на способы цветной фотографии по многослойному принципу с цветным проявлением, были начаты работы по изысканию способов технической реализации этого принципа. К. С. Ляликов сначала в ГОИ, а затем в ЛИКИ сделал первые шаги в этом направлении. Успешные работы в направлении получения цветных компонент были предприняты в лаборатории академика А. Е. Порай-Кошица в Ленинградском химико-технологическом институте. Одновременно аналогичные работы были начаты в Москве в НИКФИ, где они были доведены до окончательного технологического освоения процесса многослойной цветной фотографии.

К. С. ЛЯЛИКОВ

### С. О. МАКСИМОВИЧ — ПИОНЕР ЦВЕТНОЙ КИНЕМАТОГРАФИИ В РОССИИ

Сергей Олимович Максимович является одним из пионеров в области цветной кинематографии и фотографии в России. Заинтересовавшись цветной фотографией еще в студенческие годы, он в течение всей своей жизни неоднократно возвращался к вопросам, связанным с разработкой способов цветной фотографии и ее применения. Наряду с цветной фотографией С. О. Максимович интересовался самыми разнообразными вопросами теории и практики фотографии. Будучи по образованию электрохимиком, он превосходно знал оптику и другие разделы физики, сопряженные с теорией фотографических процессов, что позволяло ему глубоко разбираться в различных вопросах фотографии, но тем не менее было немало выдающихся деятелей в области фотографии, но тем не менее мы, вероятно, не ошибемся, если назовем С. О. Максимовича первым русским представителем зарождавшейся в то время фотографической науки.

С. О. Максимович родился в 1876 г. в Петербурге. Среднее образование он получил в гимназии и Александровском лицее. Окончив лицей в 1898 г., он поступил на электрохимический факультет политехникума в Дармштадте, который и окончил в 1901 г.

Во время пребывания в политехникуме Максимович работал в лабораториях химии, электрохимии, физики и электротехники. Тогда уже определился его интерес к фотографии — он изучил способы цветной фотографии, в частности способы Гофмана и Гезекиеля, требующие незаурядного искусства и основательных знаний фотографии.

Сдав в 1901 г. выпускные экзамены по электрохимии, электротехнике и химической технологии, Максимович закончил политехникум и возвратился в Петербург. Ему было предложено место лаборанта в незадолго до этого организованном Политехническом институте в Лесном, но он предпочел поступить в Экспедицию заготовления государственных бумаг, с которой (позже — с фабрикой Гознак) он был связан, с перерывами, почти всю жизнь.

В Экспедиции Максимович работал сначала помощником мастера, затем мастером. В дальнейшем он работал помощником А. А. Поповичского, заведующего фотомеханическими мастерскими Экспедиции заготовления государственных бумаг, заведовал отделом Испытательной станции по испытанию бумаг и, наконец, гальванопластической мастерской.

В 1916 г. Максимович оставил работу в Экспедиции, возобновив затем в 1921 г. работу в Гознаке.



По возвращении в Петербург после окончания Дармштадтского политехникума Максимович вошел в кружок выдающихся русских деятелей фотографии, работавших тогда в Петербурге. В фотографическом кружке Петербургского университета и в Петербургском обществе фотографов тотчас по возвращении в Петербург Максимович демонстрировал свои трехцветные диапозитивы, бывшие в то время еще новинкой. Он делал доклады, печатал статьи в фотографических журналах, а с 1907 г. вел в журнале «Фотограф-любитель» обзоры иностранной литературы.

В 1908 г., реферируя статью о двухцветном процессе Смиса и Урбана, Максимович писал: «Изобретение Смиса и Урбана можно отметить как первый шаг, вопрос только, будет ли сделан второй в этом или другом направлении». Очевидно, что обсуждение недостатков процесса Смиса — Урбана, а может быть, и просмотр цветных фильмов, сделанных по этому способу (они позже демонстрировались в Петербурге), показали Максимовичу, что именно является главнейшими принципиальными недостатками процесса Смиса — Урбана и ему подобных. У Максимовича поэтому и явилось предположение о том, что «второй шаг» должен быть сделан в другом направлении.

Хотя появление процесса Смиса — Урбана было встречено в иностранной литературе шумными похвалами, стало ясно, что два дефекта этого процесса являются органическими. Это, во-первых, его двухцветность, не позволяющая передавать более двух цветовых тонов (в разной насыщенности) из всего многообразия цветовых тонов, во-вторых, последовательность фотографирования цветоделенных кинонегативов (через красно-оранжевый и сине-зеленый светофильтры). Благодаря неоднородности съемки цветоделенных негативов при проекции из-за временного параллакса неизбежно возникают каймы, мало заметные на общих планах с медленно движущимися объектами и катастрофически портящие изображение в том случае, когда снимается объект, быстро движущийся на переднем плане.

И вот Максимович приступил к разработке трехцветных аддитивных способов кинематографии, не имеющих указанных недостатков. Первоначально для съемки применялась оптическая система, состоявшая из двух одинаковых объективов, расположенных за светорасщепляющей призмой. Применявшаяся для этой цели призма хотя и уничтожала временной параллакс, но обладала продольным пространственным параллаксом, впрочем значительно менее вредным, чем параллакс временной.

В дальнейших работах Максимович создал ряд оптических систем, дающих два совершенно одинаковых изображения, снятых одновременно и с одной точки. Так как создание удобной и достаточно светосильной оптической системы, дающей три одинаковых изображения, практически едва ли возможно, то для получения трехцветного изображения одно из изображений снималось поочередно через два светофильтра.

Появляющаяся из-за этого кайма значительно менее заметна, чем при ранее применявшихся способах последовательной съемки через три светофильтра.

Так была создана система цветной кинематографии значительно более совершенная, чем эксплуатировавшиеся в Англии система «Кинемаколор», система Смиса — Урбана и другие английские и американские системы.

Патент на свой способ цветной кинематографии Максимович взял совместно с известным в Петербурге фотографом Прокудиным-Горским. Для использования их патента было организовано акционерное общество «Биохром», которое за период 1910—1914 гг. выпустило несколько цветных фильмов.

Октябрьская революция открыла новые, ранее невиданные возможности для развития творческих сил. Были организованы новые научно-исследовательские институты, и с 1919 г. Максимович начал работать в качестве физика в Государственном рентгенологическом институте, руководимом академиком А. Ф. Иоффе, и одновременно преподавателем в Высшем институте фотографии и фототехники (ВИФиФ), первым директором которого был А. А. Писовицкий.

В институте Максимович был принят на должность старшего ассистента по кафедре химии, руководимой В. Н. Кононовым. Но уже 26 января 1920 г. Совет института единогласно утвердил Максимовича профессором по кафедре фотографии на научно-фотографическом факультете.

В следующем году по предложению Максимовича в ВИФиФ была организована лаборатория по испытанию объективов, затворов, камер и т. д. В этой лаборатории Максимович развернул как педагогическую, так и научно-исследовательскую работу.

В то время он разработал призму, позволяющую получать два зеркальных изображения одновременно и с одной точки. Призма, получившая позже название призмы Максимовича, является одной из лучших расщепляющих систем. Светосила объективов, которые могут применяться совместно с данной призмой, почти такая же, как у призмы-куба, но перед этой последней она имеет два больших преимущества. Во-первых, оба изображения, получаемые при помощи этой призмы, расположены в одной плоскости, что очень упрощает транспортирующий механизм съемочной камеры. Вторым достоинством этой призмы является то, что, как позже показал А. А. Лапури, ее можно без изменения апертуры объектива превратить в призму, дающую три одинаковых изображения.

В одном из своих патентов Максимович указывает на возможность расщепления пучка света одной полупрозрачной поверхностью. Если при этом использовать и вторую идею этого же патента — съемку на двусторонней негативной пленке с белой, непрозрачной основой, то можно получить простое и удобное расположение элементов съемочной камеры.

Необыкновенный негатив, естественно, требовал и специального способа копирования. И эта задача была решена автором просто и остроумно. В результате получалось изображение на двусторонней позитивной пленке, которую в то время (1926 г.) начали применять для двухцветной кинематографии.

Однако Максимович никогда не считал «двухцветку» решением проблемы цветной кинематографии. В 1930 г., когда во всем мире удовлетворились субтрактивной двухцветкой, Максимович выдвинул оригинальный проект аддитивно-субтрактивного метода цветной кинематографии, объединяющей простоту субтрактивной двухцветки с цветопередачей, приближающейся к трехцветке. Опубликованная об этом способе статья вызвала оживленные отклики специалистов.

Идея способа заключается в замене третьего монохромного изображения попеременным окрашиванием слоя. При этом процесс изготовления позитива в основном сводится к получению субтрактивной двухцветки. Затем ее кадры попеременно окрашивают в дополнительные цвета. Благодаря этому окончательный позитив можно продемонстрировать на любом проекторе, и он, оставаясь частично аддитивным, теряет основной недостаток аддитивных способов — необходимость переделки проекционных аппаратов.



Естественно, что для получения трехцветного изображения необходимо снимать три цветоделенных негатива. В этом случае Максимович использует свою излюбленную идею съемки на одной пленке с постоянным фильтром и на другой — с изменяющимися фильтрами.

Рассмотрим на одном из трех примеров, как возникают при проекции все основные цвета.

Пусть непрерывно идет съемка на одну из пленок через красный светофильтр А, на вторую пленку снимают попеременно через зеленый В и сине-фиолетовый С светофильтры. После печати позитива на двустороннюю позитивную пленку первый монохромный позитив  $M_a$  вирируется в голубой цвет, второй  $M_b$  в красный (не пурпурный). Так как эти два цвета являются дополнительными, в тех местах, где они наложатся друг на друга, возникнут непрозрачные, черные места. На всех чередующихся кадрах теперь будут красными те места, которые должны быть красными, черные и белые также будут иметь правильные цвета, а синие и зеленые будут одинаково переданы голубым, но чередующимся с черным. Так, например, зеленый на кадре, снятом через зеленый светофильтр, будет передан голубым, а на кадре, снятом через сине-фиолетовый светофильтр, черным. С синим цветом будет происходить обратное.

Теперь на пленку наносят красители дополнительных цветов равномерно на каждый из кадров попеременно: на кадры, снятые через зеленый светофильтр, — желтую краску, на кадры, снятые через сине-фиолетовый светофильтр, — сине-фиолетовую. Ясно, что желтая краска не изменит существенно красные места на кадрах  $M_a$ , сложенных с  $M_b$ , а голубой на них превратит в зеленый (которого до сих пор не хватало), черный она также не изменит, а белый превратит в желтый. На кадрах  $M_a + M_c$  сине-фиолетовый краситель красный превратит в черный, голубой в сине-фиолетовый, отсутствовавший до сих пор, черный не изменит, а белый превратит в сине-фиолетовый, дополнительный к желтому, в который окрашены белые места на предыдущих кадрах. При проекции окраски, полученные субтрактивным способом, сложатся аддитивно. При этом хроматические цвета одного из кадров будут накладываться на черные места другого кадра, а белый цвет, уничтоженный попеременной окраской дополнительными цветами, вновь возникнет в результате аддитивного смещения дополнительных.

В 30-х годах Максимович перешел на работу в Научно-исследовательский институт аэросъемки, и последней его публикацией по цветной кинематографии является статья о применении цветной кинематографии в аэросъемке, опубликованная в трудах Научно-исследовательского института аэросъемки в 1932 г.

Педагогическая работа Максимовича, которую он начал в Высшем институте фотографии и фототехники, прервалась в 1923 г. из-за преобразования института в техникум, руководимый проф. Д. И. Лещенко.

В 1926 г. Максимович вернулся на работу в Фототехникум и читал в нем теорию цветной фотографии и фотофизику. Вокруг С. О. собираются студенты техникума, интересующиеся цветной фотографией и кинематографией, сенситометрией и другими областями теории фотографических процессов. В лаборатории фотографии проводятся экспериментальные исследования аддитивно-субтрактивного процесса, разрабатывается сенситометрия фотобумаг и проводится обширное исследование большинства существовавших в то время фотобумаг. По заданию Государственного оптико-механического завода Максимович разработал способ изготовления фотографических точных шкал и способ проектирования световых декораций.

Хотя задачей настоящего очерка является освещение роли Максимовича в развитии цветной кинематографии, научная биография его была бы неполной, если бы мы не упомянули о работах С. О. в других областях фотографии.

Работа в Испытательной лаборатории Экспедиции изготовления государственных бумаг сразу же вызвала у Максимовича интерес к вопросам сенситометрии.

Ему принадлежит приоритет в установлении значения рассеяния света при измерении поглощения света в проявленных фотографических слоях. Изучив существовавший в то время денситометр Мартенса и убедившись в полной его непригодности для измерения почернения проявленных слоев, С. О., используя поляризационный фотометр Мартенса, разработал новую конструкцию денситометра для измерения плотностей в пучке рассеянного света (в контакте с молочным стеклом). Фирма Шмидт и Генч приняла к изготовлению денситометр под названием денситометра Мартенса — Максимовича. В течение многих лет этот денситометр оставался лучшим прибором для измерения плотностей; он оставался лучшим и после появления денситометров Мартенса — Грюнбаума. Конкурировать с ним могли только выпущенные значительно позже денситометры Мартенса — Гольдберга и современные фотоэлектрические денситометры.

Кроме указанного выше принципиального достоинства, денситометр Мартенса — Максимовича обладает еще большими практическими преимуществами, делающими работу на нем очень удобной.

В нем легко обеспечивается большая освещенность фотометрических полей, установка нуля — пункта на  $45^\circ$ , что позволяет всегда пользоваться стандартными расчетными таблицами. Легко также проводить измерения плотности в направленном и рассеянном пучках света.

Ко времени опубликования работы Калье о рассеянии и поглощении света в проявленных слоях, Максимович дал не только исчерпывающий анализ вопроса, но и описание своего денситометра для измерения плотности проявленных слоев с учетом указанных явлений, уже выпускавшегося (в 1909 г.) фирмой Шмидт и Генч.

Интерес к сенситометрии вновь возник у С. О. значительно позже, в связи с работой в лаборатории фотофизики Фотокинотехникума, и постепенно начал вытеснять все другие интересы. Последние 10 лет научной деятельности Максимовича были посвящены работам по применению сенситометрического контроля в аэрофотографии, изготовлению и испытанию аэросъемочных светофильтров, постройке фотоэлектрического актинометра и т. п.

Научные интересы Максимовича были весьма широкими. Его энциклопедические знания позволяли ему успешно работать в разных областях науки и техники. В начале своей технической деятельности он работал, описал и применил в Экспедиции изготовления государственных бумаг новые, значительно улучшенные по сравнению с существующими способы никелевой, железной и медной гальванопластики; изобрел специальный прибор против вала, метод возбуждения динамо для электрохимических целей, печку для фототипии и др.

Во время работы в Научно-исследовательском институте аэросъемки он опубликовал две статьи, описывающие электрическое приспособление для оптического сопряжения плоскостей трансформатора, и статью о фотографическом способе определения пространственных координат объекта.



После начала Великой Отечественной войны С. О. продолжал работу в Ленинградском отделении Центрального научно-исследовательского института аэросъемки, геодезии и картографии.

С. О. Максимович погиб во время блокады Ленинграда.

Все лично знавшие С. О. Максимовича высоко ценили его энциклопедические знания, неизменную оригинальность в постановке и разрешении новых вопросов и замечательное остроумие, проявлявшееся и в разрешении серьезных проблем, и в дружеских беседах.

Сергей Олимпиевич Максимович много сделал для развития русской и советской фотографической науки, у многих зародил к ней интерес, воспитал интерес к цветной кинематографии у многих работников кинопромышленности. Его ученики продолжают начатые им работы.

Ю. Ш. МОШКОВСКИЙ

### РАБОТЫ В. В. ЛЕРМАНТОВА В ОБЛАСТИ ТЕОРИИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ФОТОХИМИИ

Известный русский фотограф Е. Ф. Бурицкий более 50 лет назад предвидел ту большую роль, которую суждено было сыграть фотографии при решении многих важных проблем в самых различных областях науки. Выступая на первом съезде русских фотографов в 1897 г., он с большой проникновенностью сказал [1]: «Совершеннейшее орудие запечатления и регистрации — вот чем была фотография, по словам Даванна, в 1885 г., по отношению к общему прогрессу человеческого знания. Протекло всего одно десятилетие, но мы жестоко обидели бы теперь фотографию, повторив о ней отзыв, данный 22 июня 1885 г. Роль ее за это время значительно расширилась: оставаясь попрежнему незаменимым средством запечатления и регистрации, она оказывается вместе с тем могущественным орудием исследования. Прежде она сопровождала ученого; теперь она ведет его за собой».

Однако прежде чем суметь успешно решать многообразные научные задачи и «вести ученого за собой», фотография должна была пройти большой и трудный путь от первых несовершенных дагерротипных изображений, получение которых было связано с затратой громадного количества времени и труда, до современных фотографических материалов, имеющих светочувствительность в десятки миллионов раз большую, чем дагерротипные пластинки, и вместе с тем весьма простых в обращении.

Одновременно с развитием фотографической техники делались неоднократные попытки расширить наши представления о механизме фотографического процесса и дать ответы на волнующие вопросы: в чем же заключается причина столь высокой светочувствительности фотографических материалов? Каким образом действует на них лучистая энергия и что происходит с фотографической пластинкой во время ее проявления?

Одну из первых попыток научного обоснования теории фотографического процесса мы находим в замечательных трудах ассистента кафедры физики Петербургского университета Владимира Владимировича Лермантова (1845—1919). В его исследовательских работах [2,3] изложены идеи, получившие развитие в дальнейшем и сохранившие свое значение до наших дней.

Задачей этой статьи является краткое изложение основных положений теории проявления, предложенной В. В. Лермантовым еще в 1877 г., и его взглядов на природу скрытого фотографического изображения, а также на механизм фотохимических реакций.



До последнего времени считалось, что создателями первой теории проявления фотографических слоев являются известные физико-химики Вильгельм Оствальд, Абегт и Шаум, которые в 90-х годах прошлого века выдвинули и развивали так называемую «теорию пересыщения». Эта теория рассматривала проявление, как процесс восстановления ионов серебра, в результате которого образуется пересыщенный раствор металлического серебра; далее из пересыщенного раствора металлическое серебро кристаллизуется на зародышах новой фазы (центрах проявления), расположенных на поверхности кристаллов галоидного серебра.

Между тем задолго до появления «теории пересыщения» Лермантов предложил свою теорию проявления, которая, бесспорно, является предшественницей современных воззрений на эту важную стадию фотографического процесса. В работе под названием «О фотографическом процессе» Лермантов выдвигает мысль, что «электрические силы должны так или иначе принимать участие в фотографическом процессе». К этому важному заключению он пришел, изучая усиление слабой черты, проведенной на бумаге куском серебра, вызванное действием проявителя, смешанного с раствором азотнокислым серебром. Лермантов наблюдал под микроскопом непрерывное отложение серебра на центрах проявления и предположил, что «тут происходит гальваническое осаждение металлического серебра. В самом деле, при обливании мокрой пластинки<sup>1</sup> раствором железного купороса образуются молекулярные гальванические пары из частицы железного купороса, частицы азотносеребряной соли и частицы металлического серебра или другого вещества, способного заменить металлическое серебро в таком гальваническом элементе. Подобного рода веществами, вероятно, могут служить все металлические проводники электричества, так как энергия элемента почерпается главным образом при взаимодействии железного купороса и азотно-серебряной соли. При достаточной электровозбудительной силе все эти элементы будут осаждать серебро» (разрядка наша. — Ю. М.).

Для подтверждения своей гипотезы Лермантов собрал гальванический элемент, состоящий из сложенной в виде фильтра пергаментной бумаги, в которую наливали 2%-ный раствор азотнокислого серебра. Фильтр с раствором азотнокислого серебра опускали в проявитель, которым служил раствор железного купороса и уксусной кислоты. Полоска из металлического серебра погружалась одним концом в раствор азотнокислого серебра, а другим — в проявляющий раствор. Через несколько минут после начала опыта на конце пластинки, погруженном в раствор азотнокислого серебра, появлялись кристаллики металлического серебра. Лермантов заменил проявитель из железного купороса проявителем, содержащим органическое проявляющее вещество — пирогалловую кислоту. И в этом случае наблюдалось образование кристалликов металлического серебра.

В 1882 г. количественную проверку электрохимической теории проявления Лермантова предпринял Н. Хамантов [4]. Он определил электродвижущие силы гальванических элементов, составленных совершенно так же, как их составлял Лермантов. Всего были изучены следующие четыре проявляющих раствора, рецепты которых приводятся ниже (с сохранением терминологии оригинала):

№ 1. Воды 100 мл, железного купороса 5 г, уксусной кислоты 3 мл.

<sup>1</sup> В 1877 г. еще не были широко распространены сухие бромжелатиновые пластинки и Лермантов исследовал процесс проявления на так называемых «мокрых коллоидных пластинках».

№ 2. Воды 100 мл, пирогалловой кислоты 1 г, лимонной кислоты 1 г.

№ 3. Воды 100 мл, железного купороса 5 г, уксусной кислоты 4 мл, раствора уксуснокислой меди и натра 5—6 мл.

№ 4. Воды 100 мл, железного купороса 6 мл, раствора уксуснокислой меди и натра 4 мл.

Таким образом, различная проявляющая способность исследованных проявителей создавалась изменением относительного содержания железного купороса и уксусной кислоты, т. е. изменением рН раствора. В качестве второго электролита в этой работе использовался 10%-ный раствор азотнокислого серебра.

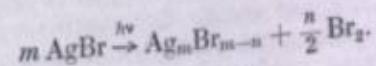
Электродвижущие силы определяли компенсационным методом по сравнению с элементом Даниэля, так как нормальный элемент в то время еще не был известен. В результате проведенных измерений оказалось, что электродвижущая сила гальванического элемента, содержащего проявляющий раствор № 1, была наименьшей и постепенно возрастала при переходе от первого проявителя к четвертому. В таком же направлении возрастала и проявляющая способность исследованных проявителей. На этом основании и можно сделать заключение, что теория проявления, предложенная Лермантовым, подтверждается опытом.

В уже цитированной, а также и в более поздней работе Лермантова можно найти чрезвычайно интересные идеи о механизме первичного фотохимического действия света на кристаллы галоидного серебра и о природе центров проявления.

Исходя из своей теории проявления, Лермантов приходит к выводу, что «от действия света поверхностные частицы чувствительного слоя, соответствующие светлым местам изображения, становятся металлическими проводниками тока. Для этого подстое и бромистое серебро должно разложиться на металл и галоид».

Для подтверждения своего предположения о том, что скрытое фотографическое изображение состоит из металлического серебра, Лермантов провел интересный опыт. Экспонированную и фиксированную фотографическую пластинку обрабатывали раствором азотной кислоты (удельный вес 1,2), а затем проявляли в физическом проявителе. Отсутствие изображения в этом случае Лермантов с полным основанием считал доказательством справедливости своего предположения о серебряно-казательством скрытого фотографического изображения. Взгляды металлической природы скрытого изображения на 20 лет опередили В. В. Лермантова на природу скрытого изображения на 20 лет опередили гипотезу Р. Абегта (1897 г.), который также считал, что скрытое фотографическое изображение состоит из металлического серебра.

Как известно, с 1889 г. и в продолжение нескольких десятков лет в фотографической науке господствовала так называемая «субгалоидная теория» образования скрытого фотографического изображения, созданная в основном трудами Кэри Ли и Эдера. Сущность этой теории заключалась в том, что скрытое изображение отождествлялось с галоидными соединениями серебра переменного состава, образующимися под действием света по реакции:



В качестве довода в пользу субгалоидной теории обычно приводили результаты опытов по воздействию на скрытое изображение растворов окисляющих металлическое серебро (азотная кислота, раствор бихромата калия и др.). Эти опыты показали, что при обычном, так называемом «химическом» проявлении невозможно полностью уничтожить скрытое



фотографическое изображение. Таким образом, создавалось впечатление, что центры скрытого изображения состоят не из металлического серебра, а из какого-то другого вещества. Чем же в таком случае можно объяснить, полное разрушение скрытого изображения в опытах, проведенных Лермантовым? Более глубокое изучение причины повышенной стойкости центров скрытого изображения к действию окислителей дало ответ на этот вопрос. Дело в том, что при химическом проявлении, т. е. при восстановлении кристаллов галоидного серебра до металлического серебра, применяемые обычно проявители всегда являются более или менее хорошими растворителями галоидного серебра. Поэтому даже при полном разрушении поверхностных центров скрытого изображения невозможно избежать действия центров скрытого изображения, образующихся во время экспозиции в глубине кристаллов галоидного серебра и обнажающихся в результате растворяющего действия проявителя. Лермантов для доказательства справедливости своего взгляда на природу скрытого изображения провел опыт совершенно правильно, растворив сначала все галоидное серебро, защищающее глубинные центры скрытого изображения от действия окислителей, и только после этого окислив все центры как поверхностные, так и глубинные. Вполне понятно поэтому отсутствие почернения после проявления экспонированной пластинки, обработанной изложенным выше способом.

Не может быть сомнения в том, что если бы работы Лермантова были широко известны среди исследователей, работавших в области теории фотографического процесса, то неправильная субгалоидная теория не смогла бы столь долго тормозить развитие фотографической науки. Дальнейшее развитие фотографической науки опровергло субгалоидную теорию, и в настоящее время считаются полностью доказанными предположения тех исследователей, которые, как и Лермантов, полагали, что скрытое фотографическое изображение состоит из металлического серебра.

В своей работе «О химическом и фотографическом действии света» Лермантов выдвигает оригинальное объяснение механизма фотохимических реакций, исходя из предположения о том, что при поглощении свет производит действие, аналогичное нагреванию. «Действительно, положим, — читаем мы у Лермантова, — что луч темной лучистой теплоты (т. е. инфракрасная область спектра по современной терминологии), падая на поверхность тела и поглощаясь, производит одно нагревание. Несомненно, что это нагревание, или, пожалуй, что молекулярное движение, которое мы называем этим именем, сообщается прежде всего частице поверхности, непосредственно встречающей рассматриваемый луч и поглощающей его энергию, а окружающим частицам оно передается в следующее мгновение вследствие теплопроводности. Поэтому частицы поверхности, непосредственно принимающие действия лучей, должны нагреваться до температур значительно высших, чем средняя температура всего тела... Луч за-фиолетовый, исходящий лишь из источника очень высокой температуры, может вследствие вышесказанного нагреть частицу, его поглощающую, тоже до очень высокой температуры. А этого одного достаточно, чтобы произвести разложение весьма большого числа соединений, равно как и множество разнообразных химических реакций».

По мысли Лермантова, любую фотохимическую реакцию при соблюдении определенных условий можно провести и как обычную термическую реакцию. И наоборот, для любой термической реакции в том случае, если вещество поглощает необходимую для ее осуществления лучистую энергию, можно подобрать такие условия освещения, в которых реакция будет фотохимической.

Взгляды Лермантова на причину и механизм фотохимических реакций могли бы служить плодотворной руководящей идеей для развития возникшей в то время новой отрасли науки — фотохимии. Однако сам Лермантов не проводил экспериментальных работ по изучению закономерностей фотохимических реакций. Он ограничился только тем, что на большом числе примеров, собранных им из различных литературных источников, подтвердил правильность своей мысли о том, что любая фотохимическая реакция может протекать и под влиянием тепловой энергии.

Следует отметить, что изложенные идеи Лермантова о причине фотохимических реакций были высказаны им значительно раньше известной теории «активации», предложенной С. Аррениусом в 1889 г. для объяснения температурного коэффициента химических реакций. Между тем из приведенной выше цитаты можно видеть, что Лермантов рассматривал фотохимическое действие света как своеобразную активацию отдельных молекул, в результате которой и происходит химическая реакция. Свет любой длины волны может вызвать химическую реакцию, лишь бы «нагревание», или, как мы сказали бы в наши дни, «возбуждение», было достаточно. Если вспомнить, что 80 лет назад в науке было широко распространено мнение об особых «химических» лучах, соответствующих коротковолновой области спектра, которые якобы только и способны вызывать химические превращения, то изложенные взгляды Лермантова нужно признать большим шагом вперед в развитии представлений о природе фотохимических реакций.

Работы Лермантова, посвященные исследованию фотографического процесса и фотохимических реакций, были опубликованы также в распространенном тогда научном французском журнале «Journal de Physique». Несмотря на это, имя Лермантова почти не упоминается в работах иностранных ученых, касающихся аналогичных вопросов. Конечно, трудно требовать объективного отношения к замечательным исследованиям молодого русского ученого, если систематически замалчивались работы таких крупнейших естествоиспытателей, как А. М. Бутлеров и Д. И. Менделеев.

Способному студенту-физику Лермантову предлагали остаться при Петербургском университете для подготовки к профессорской деятельности; это дало бы ему возможность стать физиком-исследователем. Однако Лермантов предпочел занять скромное место лаборанта и отдал все свои силы, знания и незаурядные педагогические способности новому тогда делу — организации и налаживанию физического практикума. В течение более четверти века все студенты-физики Петербургского университета проходили через школу Лермантова и обучались у него искусству экспериментирования. В предисловии к книге В. В. Лермантова «Методика физики» проф. А. И. Бачинский [5] писал: «такое добровольное отречение от личных интересов имело ту отрицательную сторону, что научные работы В. В., касавшиеся передовых вопросов тогдашней физики, остались без дальнейшего развития».

Электрохимическая теория проявления В. В. Лермантова и его идеи о природе фотографического изображения нашли свое дальнейшее развитие в трудах русских и советских ученых.

В результате исследования механизма проявления Н. А. Шиловым, Г. П. Фаерманом, А. И. Рабиновичем, В. И. Шеберстовым, К. В. Чибиковым и другими исследователями, сейчас всеми признается представление о проявлении как об окислительно-восстановительном процессе, в котором ион серебра восстанавливается до металла и одновременно окисляется



молекула проявляющего вещества. Исследования природы фотографической чувствительности, проведенные К. В. Чибисовым, А. А. Титовым и А. А. Михайловым [6], с очевидностью показали, что из металлического серебра состоит не только скрытое изображение, но и так называемые «центры чувствительности», придающие фотографическому слою присущую ему высокую светочувствительность.

Таким образом, замечательные труды талантливого русского ученого Лермантова, на много опередившие работы зарубежных исследователей фотографического процесса, получают все новые и новые подтверждения.

В. В. Лермантову с полным правом принадлежит приоритет правильных научных представлений о процессе проявления, правильного предположения о том, что скрытое фотографическое изображение состоит из металлического серебра, и оригинального объяснения механизма фотохимических реакций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ф. Буринский. О цветоделении. Тр. I съезда русских фотографов, 1897.
2. В. В. Лермантов. О фотографическом процессе. ЖРФО, 1877, IX, 301.
3. В. В. Лермантов. О химическом и фотографическом действии света. СПб., 1879.
4. Н. Хамантов. Об электро-возбудительных силах некоторых проявляющих растворов. Фотограф, 1882, № 4, 97.
5. В. В. Лермантов. Методика физики, 1935.
6. К. В. Чибисов, А. А. Титов, А. А. Михайлова. Тр. НИКФИ, вып. VIII. Природа фотографической чувствительности, 1948.

#### СОДЕРЖАНИЕ

От редакции . . . . .	3
<i>Часть первая</i>	
Научно-технические вопросы цветной фотографии и кинематографии	
К. В. Чибисов. Краткий очерк истории развития цветофотографического метода . . . . .	7
И. И. Левкоев, З. П. Сметини и С. В. Натансон. Оптические сенсибилизаторы для цветных кинофотоматериалов . . . . .	11
<u>Г. И. Арбузов</u> и И. А. Соловьева. Недиффундирующие компоненты трехслойных кинофотоматериалов . . . . .	28
К. С. Лиликов, Б. А. Царев, Я. Л. Лейбов и В. Н. Курнаков. Исследование цветного проявления . . . . .	38
В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенинникова и С. А. Бонгард. Исследование выхода красителя при цветном проявлении . . . . .	48
В. А. Вейденбах и Е. А. Карнович. Зависимость процесса цветного проявления от концентрации проявляющих веществ . . . . .	56
Г. П. Фаерман и Н. Н. Шишкина. Роль щелочи при цветном проявлении . . . . .	63
Н. Д. Ньюберг, Г. С. Баранов и Н. С. Овечкис. Система сенситометрии цветных кинофотоматериалов и процессов . . . . .	72
Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и Т. М. Левенберг. Исследования по сенситометрии многослойных цветофотографических материалов. I. Основные положения и метод исследования . . . . .	85
Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и О. М. Пономаренко. Исследования по сенситометрии многослойных цветофотографических материалов. II. Спектральные фотографические свойства цветофотографических материалов . . . . .	105
Д. К. Балабуха и Ю. Н. Гороховский. Исследования по сенситометрии многослойных цветофотографических материалов. III. Взаимное влияние элементарных слоев при цветном проявлении . . . . .	119
Ю. Н. Гороховский и Т. М. Левенберг. Исследования по сенситометрии многослойных цветофотографических материалов. IV. Разрешающая способность цветофотографических материалов . . . . .	131
Н. Д. Ньюберг. Искажения цветопередачи и их связь с сенситометрическими характеристиками цветофотографических процессов . . . . .	134
Н. С. Овечкис. Трехзональная система координат и ее применение к цветофотографическим процессам . . . . .	145
В. И. Успенский и С. М. Антонов. Пути решения проблемы контрастирования цветных фильмов . . . . .	154
С. М. Антонов и Ю. И. Букин. Обзор методов объективной установки света при субтрактивном способе печати цветных изображений . . . . .	160
Е. М. Голдовский. К вопросу о восприятии цвета в кинофильмах . . . . .	166



## Часть вторая

## Фотографическая запись звука

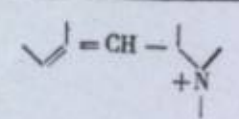
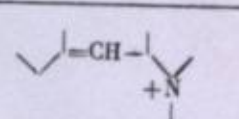


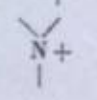



- П. Г. Тагер. Фотографическая запись электрических процессов . . . . . 179  
 А. М. Мелик-Степанян. Пути развития отечественной аппаратуры  
 для фотографической записи звука . . . . . 195  
 С. Д. Каринди. Фонограмма на узком фильме . . . . . 207

## Часть третья

## Из истории отечественной фотографической науки и техники

- В. И. Шеберстов. Обзор работ московских ученых в области химико-  
 фотографических исследований . . . . . 217  
 Г. П. Фаерман. Работы ленинградских ученых в области научной фото-  
 графии . . . . . 233  
 К. С. Ляликов, С. О. Максимович — пионер цветной кинематографии в  
 России . . . . . 239  
 Ю. Ш. Мошковский. Работы В. В. Лермантова в области теории фотогра-  
 фических процессов и фотохимии . . . . . 245

## ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

стр.	строка	напечатано	должно быть
18	ф-ла XIX		
»	ф-ла XX		
22	табл. 6, ф-ла		
30	ф-ла XIII		
50	табл. 3	$\overline{D_{Ag}}$	$\frac{D_{\lambda}}{D_{Ag}}$
83	14 ст.	156	145
225	6 ст.	стирил-хинолиновыми производными	стирил-хинолиновых производных
227	23 ст.	проявленного слоя	клетки проявления слоя

Успехи научной фотографии, том II.

Утверждено к печати Комиссией по научной фотографии и кинематографии при ОХИ  
 Академии Наук СССР

Редактор издательства К. И. Маршлевич. Технический редактор Е. Д. Гракова  
 Корректор В. Н. Стаханова

РИСО АН СССР № 3-14 В. Т-01630. Издат. № 178. Тип. заказ № 1721. Подп. и печ. 23/1 1954 г.  
 Формат бум. 70x103. Бум. л. 7,87 + 1 вклейка. Печ. л. 21,58 + 1 вклейка. Уч.-издат. 19,7 + 0,1 вкл.  
 Тираж 3000. Цена по прейскуранту 1952 г. 30 к.

2-й тип. Издательства Академии Наук СССР. Москва, Шубинский пер., д. 10.



13 p. 90 к.