

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

УСПЕХИ
НАУЧНОЙ
ФОТОГРАФИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ХИМИИ
КОМИССИЯ ПО ХИМИИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Том XV

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ЛЕНИНГРАД • 1970

Редакционная коллегия:

докт. хим. наук профессор Ю. Н. Горозовский (отв. редактор), докт. техн. наук профессор Н. И. Кириллов, член-корр. АН СССР И. И. Левкоев, докт. хим. наук профессор Г. П. Фаерман, член-корр. АН СССР К. В. Чибисов.

ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящий, XV том «Успехов научной фотографии» посвящен развитию и современному состоянию основных проблем фотографической науки в Советском Союзе. Он содержит 17 обзорных докладов, прочитанных на XX совещании по научной фотографии, состоявшемся в Ленинграде 17—20 июня 1968 г. и организованном Комиссией по химии фотографических процессов АН СССР, совместно с Государственным оптическим институтом им. С. И. Вавилова, Всесоюзным научно-исследовательским кинофотоинститутом, Государственным научно-исследовательским и проектным институтом химико-фотографической промышленности, Ленинградским институтом киноинженеров и Союзом кинематографистов СССР.

Задачей совещания было освещение итогов советской фотографической науки за 50 лет Советской власти и рассмотрение основных ее перспектив. В нем приняло участие около 320 человек, в том числе ряд ученых социалистических стран: Болгарии, Венгрии, Демократической Республики Вьетнам, Германской Демократической Республики и Чехословакии.

Представленные в данном томе обзоры неодинаковы по структуре. Как правило, доклады о проблемах, по которым в последние годы публиковались на страницах «Журнала научной и прикладной фотографии и кинематографии» специальные обзоры, более кратки и содержат менее подробную библиографию, нежели доклады о проблемах, по которым таких обзоров давно не было.

В томе помещены портреты закончивших свой жизненный путь выдающихся отечественных деятелей в области научной фотографии и фотокинотехники.

п 65566
Центральная научная
Библиотека
Академии наук Миргизской ССР

К. В. ЧИБИСОВ, Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ

ОЧЕРК ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ СОВЕТСКОЙ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ

Большая Октябрьская социалистическая революция открыла новую эру в истории России. С этого момента развитие всех отраслей народного хозяйства стало служить интересам государства трудящихся. Актом, который определил подчинение народного хозяйства государственным задачам, были указы о национализации. Это привело к невиданному подъему науки и промышленности в нашей стране.

Коренной перелом наступил и в интересующей нас области — в фотографии. Поскольку, однако, молодая Советская республика получила в этой части очень незавидное наследство, то практически организацию тех отраслей промышленности, которые обеспечивали бы создание материальной базы отечественной фотографии и кинематографии, — химико-фотографической, оптико-механической и кинотехнической пришлось начинать почти на пустом месте. При этом важно отметить, что в первые годы после революции с большой прозорливостью было принято решение об открытии многочисленных новых научных институтов и высших учебных заведений. Это предопределило быстрый рост научных и технических знаний в стране, в том числе фотокинетехники и фотографической науки.

Настоящий исторический очерк надо рассматривать как введение к циклу обзоров, прочитанных на XX совещании по научной фотографии, о развитии в СССР за 50 лет отдельных, наиболее важных разделов фотографической науки.

Научная фотография до 1917 г.

За восемьдесят лет существования фотографии до 1917 г. в русской науке можно назвать лишь три крупных исследования по теории фотографических процессов в ее современном понимании.

В 1877 г. известный физик-экспериментатор В. В. Лермантов опубликовал замечательную, опередившую свой век и не оцененную современниками статью [1], в которой была дана научная трактовка механизма фотографического проявления с электрохимических позиций, ставших спустя полвека общепринятыми.

Ученик В. В. Лермантова Н. Н. Хамантов в 1882 г. выполнил по методике Лермантова сравнительное экспериментальное исследование [2] электродвижущих сил гальванических элементов $\text{Ag}-\text{AgNO}_3$ — проявляющий раствор — Ag для нескольких систематически выбранных проявителей [3].

В 1880 г. крупнейший изобретатель того времени в области фотографии Л. В. Варнерке (В. Малаховский) разработал первый в мире стандартный сенситометр со шкалой освещенности и нормализованным фосфоресцент-

ным источником света и получившую широкое распространение в XIX в. шкалу чисел светочувствительности [4].

Наконец, в 1912—1915 гг. известный московский физико-химик проф. Н. А. Шилов [5] и его ученики, в их числе Я. М. Катушев [6], выполнили интересное исследование сопряженных реакций окисления компонентов проявителя — проявляющего вещества и сульфита.

Следует, наконец, указать на несколько публикаций корифеев русской науки — профессора К. А. Тимирязева [7], большого поклонника и пропагандиста фотографии, посвященных исследованию ассимиляции углекислого газа листьями. Еще в 1875 г. он высказал гипотезу, что хлорофилл осуществляет функцию оптического сенсibilизатора при фотосинтезе. Это было подтверждено на Крунианской лекции в Королевском обществе в Лондоне в 1903 г. опытом оптической сенсibilизации бромосеребряных желатиновых пластинок раствором хлорофиллина натрия.

Такое положение фотографии было обусловлено общим состоянием русской дореволюционной науки, развивавшейся в основном в немногочисленных высших учебных заведениях (напомним, что к 1917 г. в России было всего 12 университетов и 16 высших технических, не считая военных, учебных заведений) и в совсем немногих специальных научных учреждениях. Кроме того, в стране отсутствовала промышленность, производящая материальные средства фото- и кинотехники и заинтересованная в обеспечении собственных нужд научными разработками и исследованиями. Усилия отдельных энтузиастов научной фотографии и фототехники, в том числе Л. В. Варнерке, вынужденного в расцвете своего творчества покинуть родину [8], и в особенности В. И. Срезневского [9], на протяжении нескольких десятилетий возглавлявшего V (фотографический) отдел Русского технического общества в Петербурге, не могли в тех условиях привести к ощутимым результатам.

В то же время надо отметить значительные достижения наших соотечественников в сфере разработки средств фототехники и применения фотографических методов. Ограничимся указанием на деятельность лишь нескольких лиц. Во-первых, это С. Л. Левицкий, знавший изобретателя первого, широко распространенного способа фотографии Ж. Л. М. Дагерра [10] и внесший существенные усовершенствования в дагерротипию; он же впервые применил в России электрическое освещение при фотографических съемках (1877 г.) [11]. Огромную роль в развитии фотографической науки сыграл уже упоминавшийся Л. В. Варнерке [12], которому принадлежит создание в 1875 г. первой в мире катушечной фотокамеры и негативного материала на гибкой подложке со съемным эмульсионным слоем для такой камеры, обнаружение дубящего желатиновые галлоидосеребряные слои действия пирогаллового проявителя (1881 г.) и ряд других интересных изобретений, а также инициатива создания упомянутого выше V отдела Русского технического общества, которое на протяжении 40 лет, вплоть до Октябрьской революции, было основным научно-общественным центром фототехники в России [13].

Известный в те времена мастер художественной фотографии И. В. Болдырев [14] изобрел и продемонстрировал на Всероссийской промышленно-художественной выставке в Москве (1882 г.) фотографические пластинки на очень тонкой и гибкой негорючей подложке (названные изобретателем «смоловидными пластинками»); одно время они были рекомендованы военно-учебным заведениям России при изготовлении диапозитивов для учебных целей.

Нельзя не назвать одного из создателей судебной фотографии — Е. Ф. Бурицкого [15] — изобретателя весьма оригинального метода повышения контраста фотографического изображения при одновременном понижении зернистости последнего (метод был неудачно назван авто-

ром «цветоделительной фотографией»), позволившего впервые решить задачу различения угасших тестов [16]. За эту работу Российская академия наук присудила Е. Ф. Буриному в 1898 г. Ломоносовскую премию.

Напомним, наконец, что известному русскому астроному Г. А. Тихову (члену-корр. АН СССР с 1927 г.) принадлежит заслуга изобретения в 1910 г. метода так называемой спектральной фотографии, заключающейся в последовательном фотографировании планет за двумя светофильтрами и в получении двухцветных изображений методом пинатипии [17].

1918—1930 годы

Положение дела в фотографической науке резко изменилось сразу после установления Советской власти. В тяжелых условиях того времени Советское правительство с исключительным вниманием отнеслось к задаче создания системы научных учреждений в области естествознания и точных наук как материальной базы науки нового общественного строя. Одним из первых шагов явилась организация специального высшего фотографического учреждения страны.

В сентябре 1918 г. декретом Совета Народных Комиссаров РСФСР в Петрограде был организован Высший институт фотографии и фототехники как «высшее учебное, научно-промышленное и культурно-просветительное» учреждение [18]. Его основателями явились старый большевик Д. И. Лещенко, возглавлявший фотокинодело в Народном комиссариате просвещения, В. И. Срезневский и видный специалист по фотомеханическим процессам А. А. Поповицкий, последний стал ректором института. Институт состоял из четырех, сформировавшихся в указанной ниже последовательности факультетов: научно-фотографического, возглавлявшегося В. И. Срезневским и отчасти крупным оптиком-вычислителем В. С. Игнатовским (членом-корр. АН СССР с 1932 г.); художественно-фотографического, возглавлявшегося химиком и искусствоведом В. Я. Курбатовым, а затем выдающимся художником-графиком А. П. Остроумовой-Лебедевой; полиграфического (декан А. Г. Бремзея, бывший руководитель Экспедиции заготовления государственных бумаг) и оптического (декан В. С. Игнатовский). В институт были привлечены лучшие силы. Среди преподавателей были крупные химики: И. И. Жуков (член-корр. АН СССР с 1946 г.) и А. Е. Порай-Кошиц (акад. с 1935 г.); фототехник А. И. Прилежаев (профессор Института путей сообщения); виднейший сенситометрист С. О. Максимович, физики В. Е. Мурашкинский и Ю. А. Крутков (член-корр. АН СССР с 1934 г.), известный художник Г. С. Верейский.

На Съезде физиков, происходившем в феврале 1919 г. в Петрограде [19], ректор института А. А. Поповицкий сделал доклад о задачах института, а акад. А. Ф. Иоффе в сообщении о так называемых центральных научных установках назвал данный институт среди девяти физических институтов страны, где могли бы быть созданы такие установки и организовано их последующее производство. В решениях съезда признавалось необходимым учредить при Российской академии наук Совет исследовательских институтов по физике, координирующий деятельность последних; в число этих институтов был включен и Высший институт фотографии и фототехники.

Так блестяще начавший свою деятельность первый советский центр научной фотографии просуществовал, к сожалению, недолго. Трудности финансового характера, испытывавшиеся в первые годы изна Ведомством народного просвещения, и преимущественное внимание руководства института учебному процессу и просветительской деятельности в ущерб научно-исследовательской работе явились причинами его ликвидации весной

1923 г. На базе института был организован Ленинградский фотокинотехникум — отличное среднее техническое учебное заведение, давшее стране много хороших специалистов; техникум просуществовал до 1930 г.

Другим учреждением, где после Октябрьской революции были начаты первые научно-исследовательские работы в области фотографического процесса, был Научно-технический отдел центрального Аэрофотопарка. Аэрофотопарк существовал еще в конце первой мировой войны как снабжающее и ремонтное подразделение воздушных сил армии. Нельзя не вспомнить, что в этом учреждении отбывал военную службу Г. А. Тихов, который выполнил в то время интересную работу по улучшению визуальных наблюдений с самолета. Он предложил применение контрастирующих светофильтров, а для устранения бликов от водной поверхности — призму Николя, предвосхитив тем самым применение поляридов. Эта работа была опубликована в 1917 г. в виде отдельной брошюры, автором которой значился «ефрейтор Тихов» [20].

В начале 1918 г. Аэрофотопарк начал восстанавливаться. Во главе его был поставлен опытный летчик, знаток практической фотографии П. В. Клепиков. Его большой заслугой было учреждение в системе Аэрофотопарка Научно-технического отдела, задачами которого были разработки и усовершенствование прикладной фотографии и аэрофотографии. Руководителем отдела стал известный в то время специалист по измерительной фотографии (фотограмметрии) инженер Д. А. Сольский. Позднее НТО Аэрофотопарка претерпел реорганизацию, однако продолжал свою работу в области не только прикладных вопросов, но и смежных теоретических проблем. На протяжении десяти лет в системе этих учреждений сложился коллектив научных работников (Б. В. Недзвецкий, К. А. Колосов, В. С. Чельцов, А. А. Михайлова, В. И. Шеберстов и др.), которые впоследствии перешли в Научно-исследовательскую лабораторию Фотохимтреста. До 1930 г. (до организации специального института — НИКФИ) был выполнен ряд достаточно крупных по тому времени исследований, а именно разработка и применение различного типа светофильтров, особенно для борьбы с воздушной дымкой; изучение роли желтого красителя в эмульсионном слое; разработка рациональной рецептуры проявителей и методов проявления по времени; исследование поведения эмульсионных микрокристаллов и микрокинозъемка их проявления; исследование природы первого и второго созревания и др. Эти работы привели к некоторым практически важным результатам. Так, например, исследование рациональной рецептуры проявителей позволило предложить состав наиболее выгодного метолгидрохинонового проявителя (проявитель Чибисова); работа о роли желтого красителя в эмульсионном слое показала, что его функция сводится к устранению диффузного светорассеяния, — с такой именно целью в настоящее время стали вводить красители в эмульсионные слои, добиваясь повышения качества фотографического изображения. Некоторые из перечисленных работ составили первые советские публикации в зарубежных журналах [21]. Продолженное позднее В. И. Шеберстовым систематическое исследование процесса проявления послужило материалом для его прекрасной и одной из первых в фотографической науке монографии «Химия проявителей и проявления» (первое издание — 1933 г.).

В течение короткого промежутка времени, предшествовавшего могучему подъему индустриализации нашей страны, возник целый ряд научно-фотографических организаций, некоторые из которых стали в дальнейшем крупнейшими научными центрами. Речь идет о фотографической лаборатории Государственного оптического института, Центральной лаборатории фотохимтреста, Научно-исследовательском кинофотоинституте, фотохимической лаборатории Физико-химического института им. Л. Я. Карпова и Институте аэро съемки (будущий ЦНИИГАиК).

В 1922 г. в Государственном оптическом институте в Ленинграде по инициативе его основателя акад. Д. С. Рождественского была организована лаборатория научной фотографии, во главе которой в 1926 г. стал видный советский оптик проф. Т. П. Кравец (член-корр. АН СССР с 1943 г.), ближайший ученик и многолетний сотрудник знаменитого русского физика П. Н. Лебедева. Следуя руководящему и в те времена новаторскому принципу, положенному Д. С. Рождественским в организацию ГОИ, — вести теоретическую и инженерно-практическую работу в неразрывной связи [22], эта лаборатория стала заниматься, с одной стороны, природой скрытого фотографического изображения, теорией проявления, теорией синтеза фотографических эмульсий и другими общими вопросами научной фотографии. С другой стороны, много внимания уделялось вопросам технологии производства фотожелятины (сотрудничество с ленинградским желатиновым заводом), технике производства шкал и сеток фотографическими методами и налаживанию этого производства в оптико-механической промышленности, равно как и другим важным прикладным вопросам [23, 24]. Такое построение научной проблематики лаборатории и тщательность подбора и воспитания ее основного научного коллектива, чему Т. П. Кравец уделял большое внимание, обусловили высокую жизнеспособность лаборатории и авторитет, который она быстро завоевала в широких научных и инженерно-технических кругах.

В 1928 г. в Москве в составе тогдашнего Фотохимтреста, объединявшего предприятия по производству фотографических материалов, была организована Центральная научно-исследовательская лаборатория, во главе которой стал крупный специалист фотохимической технологии В. Я. Михайлов. Однако вскоре возник вопрос о недостаточности этой организации для обеспечения нужд бурно развивавшегося производства фотоматериалов. Напомним, что Шосткинская и Переславль-Залесская фабрики киноплёнки в это время строились, а в 1931 г. уже начали выпускать продукцию. С другой стороны, к этому времени стала нуждаться в серьезной базе и профессиональная кинематография, техника которой существенно усложнилась.

В результате в 1929 г. в Москве был организован Научно-исследовательский кинофотоинститут (НИКФИ) [25], в который влилась и вышеупомянутая Центральная лаборатория Фотохимтреста. Ввиду комплексного характера НИКФИ, подчиненного организации, руководившей развитием кинематографии, его деятельность с самого начала протекала по двум руслам — химико-фотографическому и кинотехническому. Заместителем директора и главой его химической части стал специалист по фотографической химии, до того много лет работавший в военных научно-исследовательских и учебных заведениях, К. В. Чибисов (член-корр. АН СССР с 1946 г.). Развернутые во вновь созданном институте исследования по теории синтеза фотографических эмульсий и химии фотографического желатина быстро завоевали международную известность, а сам НИКФИ стал общепризнанным центром этой области фотографических знаний, научным штабом промышленности, производящей фотографические материалы.

В 1929 г. в Физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова в Москве из коллоидно-химической лаборатории — лучшей научной лаборатории этого профиля в то время, которую возглавлял член-корр. АН СССР А. И. Рабинович [26], была выделена специальная фотохимическая лаборатория, плодотворно работавшая в области теории проявления, теории оптической сенсibilизации галогенного серебра и фотографических эмульсий и отчасти сенситометрии. К сожалению, этот очень хороший научно-фотографический центр просуществовал недолго; во второй половине 30-х годов он распался.

Почти одновременно (1928—1929 гг.) в Ленинграде и Москве были созданы аналогичные по наименованию, но совершенно различные по замыслу два института по аэрофотографии. В организованном по инициативе замечательного советского геохимика и минералога акад. А. Е. Ферсмана Институте аэро съемки в Ленинграде (вскоре переименованном в Ленинградское отделение по аэро съемке Государственного научно-исследовательского института геодезии и картографии) [27] широко ставились работы по изучению оптических свойств земной поверхности и атмосферы, по материальным средствам аэрофотографии (включая аэрофотоматериалы), по применениям аэрофотометодов к изучению геологического строения, почвенных структур и растительного покрова Земли, и т. п. К деятельности института были привлечены такие крупные специалисты, как старейший деятель русской фотографической техники В. И. Срезневский, выдающийся сенситометрист и изобретатель в области цветной кинематографии С. О. Максимович, фотометрист и астроном В. В. Шаронов, пионер теории аэрофотографии В. А. Фаас и мн. др. В то же время сформированный в Москве Институт геодезии и картографии, ведущим деятелем которого был крупный геодезист Ф. Н. Красовский (член-корр. АН СССР), ставил своей задачей разработку фотограмметрических и картографических проблем, т. е. совсем другие вопросы, в основном достаточно далекие от собственно научной фотографии.

Изложение будет неполным, если не упомянуть о важном почине проф. Я. М. Катусева [28], организовавшего в 1926 г. на химическом факультете Московского высшего технического училища (МВТУ) впервые в нашей стране подготовку инженеров-технологов для зарождавшейся большой отечественной химико-фотографической промышленности. Среди выпускников кафедры фотохимической технологии МВТУ отметим таких впоследствии крупных деятелей промышленности, как В. А. Бекунов, В. Л. Зеликман, А. Г. Калишкин, А. И. Кондахчан, А. П. Остроумов, Б. Т. Толстогузов, В. И. Успенский и Г. М. Эпштейн.

1931—1945 годы

30-е годы были периодом широкого развертывания в СССР научной работы в области теории фотографии, фотографической химии и фотокинетической.

В НИКФИ под руководством К. В. Чибисова и при деятельном участии Н. В. Макарова и В. С. Чельцова широким фронтом развернулись начатые еще ранее систематические исследования по теории синтеза фотографических эмульсий, среди важных результатов которых особо надо отметить четкое разграничение физико-химической сущности первого и второго созревания [29, 30]. К ним тесно прилегал, с одной стороны, исследования фотографической активности желатина (В. А. Бекунов, Н. В. Макаров, А. И. Рабинович и А. А. Титов) [29], позволившие создать научно-обоснованную классификацию желатин по этому важнейшему признаку, методику испытаний и соответствующий государственный стандарт [31], и, с другой стороны, исследования восприимчивости эмульсий к оптической сенсibilизации. Были начаты получившие широкое развитие в последующий период исследования химизма формирования центров светочувствительности в эмульсионных кристаллах (К. В. Чибисов и А. А. Михайлова), а также были изучены закономерности фотолитиза свободных от коллоида порошков галогенного серебра (А. И. Рабинович и Х. С. Багдасарьян) [29].

В том же институте получили широкое развитие также и другие направления фотографической химии. Среди них мы особо отметим три, в значительной мере определившие лицо института.

Во-первых, большое внимание было уделено разработке новых типов фотографических эмульсий и фотографических материалов на базе оформившихся к этому времени теоретических представлений. Одно время опытное производство НИКФИ имело заслуженную славу благодаря широкому ассортименту выпускавшихся им в виде товарного ассортимента фотографических пластинок, в основном для научных целей: спектральные, инфрахроматические и тому подобные пластинки. Были разработаны первые советские рентгеновские пленки (К. С. Богомолов), ряд сортов кино- и аэропленок (Н. В. Макаров, В. Я. Михайлов, Т. А. Стратонова и В. И. Успенский и работники предприятий химико-фотографической промышленности).

Во-вторых, были развернуты работы по синтезу и изучению свойств оптических сенсibilизаторов фотографических эмульсий, включая сенсibilизаторы для инфракрасной области спектра. В этих работах выдающуюся роль сыграл их организатор И. И. Левкоев (член-корр. АН СССР с 1968 г.), а также А. Ф. Вомпе, Н. Н. Свешников и др.

В этой связи отметим, что в начале 30-х годов возникли еще два научных центра по синтезу красителей-сенсibilизаторов: в Москве в МВТУ (В. А. и Н. А. Преображенские и М. Н. Щукина), где эти работы спустя несколько лет прекратились, и в Харькове в Институте прикладной химии, руководимые А. И. Киприанами (ныне акад. АН УССР). Особенную известность получил харьковский краситель Х-11 — эффективный сенсibilизатор для желто-оранжевой области спектра [32]. Дружная и согласованная работа школ А. И. Киприанова и И. И. Левкоева привела к тому, что в предвоенные годы советская химико-фотографическая промышленность была обеспечена практически всем необходимым ассортиментом сенсibilизирующих красителей.

Третье важное направление химических работ НИКФИ заключалось в проведении большого цикла исследований и технологических (совместно с промышленностью) разработок по гибкой полимерной подложке-основе (в тот период это была почти исключительно нитрооснова). Данные работы, возглавлявшиеся П. В. Козловым, а впоследствии Е. Е. Подгородецким, имели большое значение для технологии производства фотокинопленок [33].

Из других направлений укажем на цикл работ по химии диазотипного процесса (И. И. Левкоев, В. Н. Петров [34]), приведших к постановке производства светокопировальных бумаг, и на исследования по фотографической сенситометрии и детализации (Г. С. Баранов, В. А. Кизель, Д. А. Сольский, К. В. Чибисов).

В ГОИ проводились в тот же период исследования по следующим трем, имеющим фундаментальное значение проблемам научной фотографии.

Усматривая определенную аналогию между фотохимической окраской щелочно-галлоидных и серебряно-галлоидных солей, Т. П. Кравец и М. В. Савостьянова показали, что скрытое фотографическое изображение на уровне, приближающемся к фотолитической окраске, представляет собой совокупность коллоидных частиц серебра [35]. М. В. Савостьянова и А. С. Топорец методом ультрамикроскопии установили, что эти частицы дислоцируются около физических нарушений кристаллической решетки и обратимо уничтожаются при освещении красным светом (явление Гершеля), а освещение поляризованным красным светом превращает, как показал С. В. Чердынцев, «круглые» металлические частицы в эллипсоидальные (явление Вейгерта) [36]. Этим были заложены основы наших представлений о природе скрытого изображения.

В 1932 г. Г. П. Фаерман совместно с С. И. Чербовым [37] сформулировал основные положения электрохимической теории проявления, основывающейся на термодинамических представлениях и успешно объясняю-

щей значительное число фактов и закономерностей проявления. В выполненных под руководством Г. П. Фаермана экспериментальных работах (Н. Н. Шишкина, С. Г. Богданов, В. А. Вейденбах, А. И. Кан-Коган) эта теория получила количественное подтверждение.

Несколько ранее К. С. Ляликовым совместно с В. Н. Пискуновой и С. В. Чердынцевым [38] были развернуты количественные исследования процесса первого созревания фотографических эмульсий применительно к отдельным классам эмульсионных кристаллов. Ими была измерена определяющая скорость этого процесса, растворимость бромида серебра в растворах, состав которых близок к составу жидкой фазы эмульсии.

Был проведен большой цикл работ по фотографической сенситометрии. Ю. Н. Гороховский с сотрудниками разработал метод и аппаратуру энергетической спектральной сенситометрии [39], позволившие в тот период в деталях изучить энергетику явления Гершеля и вопрос о зависимости спектрального распределения чувствительности от состава твердой фазы эмульсии. Ф. Л. Бурмистров создал первый проекционный резольвометр, а Л. А. Вентман, С. С. Гилев, Ю. Н. Гороховский, М. В. Савостьянова, И. А. Черный и другие разработали комплект стандартных сенситометрических приборов [40], выпускаемых с 1945 г. поныне. Основой для этих разработок послужили принципы советской системы сенситометрии, разработанные в конце 1935 г. группой специалистов во главе с Т. П. Кравцем и К. В. Чибисовым [41] и в конце второй мировой войны оформленные в виде группы государственных стандартов [42].

Из имеющих прямое техническое значение работ фотографического сектора ГОИ отметим следующие: по физико-химии и технологии производства фотографической желатины (Г. П. Фаерман, И. Р. Протас и др.) [43]; по изучению поверхностно-активных веществ для улучшения качества полива эмульсий (Ю. Н. Гороховский и К. С. Ляликов) [44]; по внедрению потенциметрических методов контроля содержания электролитов в фотографических эмульсиях в связи с проблемой сохранности эмульсионных слоев.

Мы не касаемся здесь значительных работ по цветной фотографии и кинематографии, предпринятых К. С. Ляликовым совместно с Л. П. Крыловым, И. А. Черным и др., основным результатом которых явилось создание отечественного варианта гидротипного метода получения цветных фильмов (война помешала широкому внедрению этих работ) [45], и многолетней, продолжающейся и поныне деятельности Ф. Л. Бурмистрова в области точной репродукционной фотографии — в создании новых фотографических методов изготовления миниатюрных шкал и сеток для оптических приборов [46].

В Физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова А. И. Рабинович предложил адсорбционную теорию проявления, в отличие от электрохимической теории основывавшуюся на топохимических соображениях [47], а В. И. Шеберстов обстоятельно разработал проблему избирательности действия проявителей и предложил количественный критерий этого свойства [48]. Был проведен ряд исследований явления оптической сенсibilизации галлоидного серебра красителями как в модельных условиях, так и в реальных эмульсионных слоях, и количественных закономерностей адсорбции этих красителей (работы адсорбционного характера параллельно велись и в ГОИ). Так, в частности, Я. И. Бокиником и З. А. Ильиной был установлен [49] важный для понимания механизма явления сенсibilизации факт, что выход сенсibilизации может достигать очень высокого значения — до 50, а С. В. Натансон [50] установила, что максимумы спектра поглощения адсорбированного на галлоидном серебре

красителя и спектра вызываемой красителем сенсбилизации совпадают, чем была разъяснена природа известного эффекта Фогеля.

Крупным достижением надо считать создание в Радиевом институте Академии наук СССР им. В. Г. Хлопина Л. В. Мысовским и А. П. Ждановым [51] метода толстослойных пластинок для фотографической регистрации ионизирующих излучений. Этот метод явился основой, получившей впоследствии широкое распространение, так называемой ядерной фотографии.

К середине 30-х годов серьезная научная работа стала разворачиваться на предприятиях химико-фотографической промышленности [25]. В особенности это относилось к Шосткинской фабрике киноленок, где научно-исследовательскую лабораторию возглавлял сначала С. М. Соловьев, а затем А. В. Борин, и к Ленинградской фабрике фотобумаг под руководством М. И. Шора (главного инженера фабрики) и Я. З. Зайденберга. Статьи работников фабрик, посвященные разным актуальным вопросам фотографической химии и технологии, стали часто появляться в научно-технических журналах. В первые послевоенные годы на этих предприятиях было выполнено несколько кандидатских диссертаций.

Капитальные исследования по теории аэрофотографии были проведены в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК), в этот период в основном в его ленинградском отделении. Так, Е. Л. Кринов произвел поныне уникальное исследование спектральной отражательной способности элементов земного ландшафта и дал научно обоснованную классификацию таковых [52]. Блестящими работами молодого, безвременно погибшего в осажденном Ленинграде астронома В. А. Фааса [53] были заложены математические основы теории аэросъемочного процесса в основном с точки зрения рационального выбора аэросъемочных светофильтров как средства устранения вредного влияния воздушной дымки, снижающей контраст изображения в камере [54].

Работы по теории фотографического процесса с конца 20-х годов велись также в Физическом институте Одесского университета. Один из опытейших профессоров в области экспериментальной физики в нашей стране Е. А. Кириллов занимался изучением первичного действия света — явления фотоэффекта — в кристаллах галлоидного серебра, а затем и в эмульсионных слоях. Было показано, что при образовании скрытого изображения первичным актом является освобождение электронов [55]. Там же ученик Е. А. Кириллова Б. У. Барщевский занимался спектрами фотоэффекта в галлоидном серебре. Одно время по вопросам деструкции скрытого изображения работал проф. И. И. Нарбут.

Не останавливаясь на подробностях, укажем на огромный цикл разработок в области звуковой кинематографии. Два талантливых советских изобретателя — А. Ф. Шорин [56] в руководимой им Лаборатории проводной связи в Ленинграде и П. Г. Тагер [57] в Москве — одновременно и независимо друг от друга разработали в конце 20-х годов и довели до промышленного уровня две системы звукозаписи: первый из них — трансверсальную, а второй — интенсивную. В течение некоторого времени оба способа имели в СССР равноправное распространение. Создание звуковой кинематографии потребовало проведения ряда разработок в области оптики, техники обработки фильмов, электроакустики и т. д., успешно выполненные советскими учеными и инженерами. Первая демонстрация экспериментального звукового фильма («Пятилетка», реж. А. Роом), полученного по трансверсальному методу, состоялась в Ленинграде в октябре 1929 г. Способ интенсивной звукозаписи был применен в первом художественном звуковом кинофильме «Путевка в жизнь» (реж. Н. Экк), выпущенном в 1931 г.

Бурно развивавшаяся в годы первой пятилетки отечественная промышленность остро поставила вопрос о массовой подготовке инженерно-технических кадров. Если химико-фотографическая промышленность в какой-то мере была обеспечена выпускниками МВТУ, то обширная сфера кинотехники, в особенности в связи со «звуковым» перевооружением профессионального кинематографа, особо остро нуждалась в квалифицированных кадрах.

В 1931 г. на базе упоминавшегося выше Ленинградского фотокинотехникума был основан Ленинградский институт киноинженеров (ЛИКИ), ставший основной кузницей инженерных кадров различных профилей для кинематографии, а впоследствии и для химико-фотографической промышленности [18]. Инициаторами его организации были А. Ф. Шорин и много вложившие в постановку учебного процесса известный электроакустик С. Я. Соколов (член-корр. АН СССР с 1955 г.) и один из пионеров советской радиотехники В. И. Волюкин. К 1938 г. в ЛИКИ были уже три, существующих поныне факультета: электротехнический, механический и химико-технологический. В организации последнего большую роль сыграли К. С. Ляликов — профессор ЛИКИ со дня его основания, П. В. Козлов и А. М. Брусилловский.

В 1930 г. были открыты еще два высших технических учебных заведения, имеющих непосредственное отношение к фототехнике. Геодезический факультет старейшего московского вуза — Межевого института — был преобразован в Московский институт инженеров геодезии, аэросъемки и картографии, а на базе преобразованного в техникум старинного петербургского ремесленного училища был создан Ленинградский институт точной механики и оптики.

Некоторое время в Киеве существовал местный институт киноинженеров, однако около 1950 г. он был влит в Киевский политехнический институт.

С 1946 года до наших дней

В послевоенные годы исследовательская деятельность в области научной фотографии и фотокинотехники получила в СССР еще большее развитие. Это произошло как за счет расширения и дробления уже существовавших научных центров, так и в результате возникновения новых центров, иногда на базе организаций, хотя и существовавших ранее, но мало или совсем не занимавшихся данными вопросами. Дадим совсем краткий очерк всех основных научно-фотографических организаций, не касаясь скольконибудь подробно существа их деятельности, поскольку она достаточно освещена в обзорных статьях данного сборника.

Научно-исследовательский кинофотоинститут (НИКФИ), с 1941 по 1956 г. возглавлявшийся проф. П. В. Козловым [58], расширил прежние направления и развернул ряд новых. В особенности надо отметить обширные, руководимые И. И. Левкоевым работы по органическому синтезу веществ, необходимых химико-фотографической технологии, — сенсбилизаторов, краскообразующих компонент и эмульсионных факторов на действие этих веществ. В этих работах принимали деятельное участие А. Ф. Вомпе, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Б. С. Портная, Н. Н. Свешников, И. А. Соловьева и др. [59].

Исключительное значение для промышленности имели работы НИКФИ по созданию материальных средств цветной кинематографии, а затем и цветной фотографии: многослойных цветофотографических материалов и техники гидротипной печати цветных фильмов [60].

Предшествовавшие довоенному периоду работы акад. А. Е. Порай-Кошица, Г. И. Арбузова, К. С. Ляликова и В. С. Чельцова по цветному

проявлению и принципиальным сторонам цветофотографического процесса в значительной мере способствовали технологическому освоению под руководством А. Н. Иорданского и В. С. Чельцова при активном участии Ю. Б. Виленского, И. М. Килинского и др. и выпуску начиная с 1947 г. необходимых цветоправильных многослойных пленок и бумаг [61]. В этих работах принимали деятельное участие работники промышленности (Л. М. Богданов, И. Д. Головатенко, Л. П. Крылов, М. И. Мужниев, М. И. Шор и др.). Особо надо отметить создание под руководством А. Н. Иорданского спектрально-анализирующих пленок [62].

Начатые еще в довоенный период разработки метода гидротипной печати были развернуты НИКФИ в послевоенное время под руководством Б. Б. Беркенгейма, С. А. Бонгарда и Н. С. Спасокукоцкого [63].

Под идейным руководством выдающегося цветовода Н. Д. Ньюберга [64] в НИКФИ был проведен цикл оригинальных исследований по теории цветосинтеза при субтрактивных процессах и по сенситометрии цветофотографических материалов. В этих исследованиях и разработках принимали деятельное участие Л. Ф. Артюшин, Г. С. Баранов, Н. С. Овечкин, Н. Ф. Семенова и др. [65, 66]. Их важным результатом был выпуск государственного стандарта на метод сенситометрического испытания цветных пленок [67].

Важным направлением были работы НИКФИ по ядерной фотографии, проводившиеся под руководством К. С. Богомолова и В. М. Уваровой [68, 69]. Велось изучение механизма взаимодействия ионизирующих частиц с эмульсионными кристаллами. Результаты огромного цикла эмульсионно-технологических разработок позволили институту вместе с промышленностью создать необходимые промышленно выпускаемые слои для ядерной фотографии.

Интересные исследования и разработки принадлежали Н. И. Кириллову [70] в области теории и практики химико-фотографической обработки. Он создал общую теорию непрерывных процессов такой обработки и в сотрудничестве с С. М. Антоновым провел ряд конкретных разработок в области машинной обработки киноплёнок [71, 72].

Следует указать на обширный комплекс теоретических исследований. Среди них в первую очередь отметим работы в области химии фотографических эмульсий. Значительные усилия были приложены к выяснению характера физико-химических превращений при синтезе эмульсий и природы светочувствительности последних. Эти работы велись под руководством К. В. Чибисова сотрудниками НИКФИ — А. А. Михайловой и А. А. Титовым, а также Б. Г. Варшавер, А. Л. Карповой, И. М. Ратнер и др. [73] и сотрудниками кафедры учебной и научной фотографии и кинематографии МГУ — Л. Я. Крауш и Л. П. Лысенко. Совместно с сотрудниками указанной кафедры Е. А. Галашиним [74] были выполнены в последнее время важные работы по термодинамической теории фотографического процесса, а также проведено электронномикроскопическое исследование топографии и механизма проявления [75]. Интересные исследования были проведены В. И. Шеберстовым [76] по изучению температурной зависимости фотографического проявления, по новому подходу к пониманию механизма этого важнейшего процесса. В последнее десятилетие был поставлен ряд интересных исследований тонкой структуры фотографического изображения (Г. А. Истомин, К. В. Вендоровский, М. А. Айнгори).

В 1956 г. на базе научно-исследовательских лабораторий предприятий химико-фотографической промышленности были организованы два филиала НИКФИ — казанский и шосткинский. Здесь с участием сотрудников основного института (В. Л. Зеликмана, А. Н. Иорданского, Н. В. Макарова и др.) и инженерно-технического персонала предприятий был

создан новый ассортимент черно-белых и цветных фото- и киноплёнок, что потребовало в ряде случаев углубленных научных и технологических работ. Эти работы велись под руководством М. И. Барро, В. А. Боголюбовского, А. В. Борина, Ю. Б. Виленского, П. В. Мейкляра, И. А. Новикова и др. В филиалах широко развернулись также и работы по органическому синтезу: в Казани под руководством сначала В. А. Кухтина, ученика главы казанской научной химической школы акад. А. Е. Арбузова, а теперь А. В. Казымова, в Шостке же — под руководством З. П. Сытник, ученицы А. И. Киприанова. Надо отметить, наконец, что в казанском филиале П. В. Мейкляром ведутся серьезные теоретические исследования по фотохимии и люминесценции галоидного серебра и по природе образования скрытого фотографического изображения в реальных эмульсионных слоях.

В 1966 г. в связи с переходом предприятий, производящих фотографические материалы, в ведомство химической промышленности, от НИКФИ отделились почти все его многочисленные химические лаборатории и был сформирован Государственный научно-исследовательский и проектный институт химико-фотографической промышленности (ГосНИИхимфотопроект). К нему отошли оба вышеупомянутых филиала и добавился ленинградский филиал, организованный на базе существовавшей с 1962 г. Центральной научно-исследовательской лаборатории фотобумаг, органически связанной с Ленинградской фабрикой фотобумаг.

Значительно расширилась научно-фотографическая деятельность ГОИ, с 1951 г. носящего имя его многолетнего научного руководителя акад. С. И. Вавилова.

Еще в 1938 г. основатель лаборатории научной фотографии ГОИ проф. Т. П. Кравец [77] перешел на основную работу в ЛГУ заведующим кафедрой общей физики; его преемником в ГОИ стал проф. Г. П. Фаерман [78]. Умелое руководство и чуткое отношение к запросам народного хозяйства позволили последнему сразу же после войны существенно расширить и придать новый характер тематике лаборатории. Так, стали вестись работы по выяснению природы явлений, связанных с формированием разрешающей способности фотографических слоев и зернистости почернений на них в зависимости от различных условий синтеза эмульсии и ее нанесения на подложку (И. Р. Протас и П. Х. Прусс с сотрудниками) [79], и по созданию совместно с промышленностью высокоразрешающих фотографических слоев, в частности для нужд голографии, основы которой были заложены в ГОИ Ю. Н. Денисюком. Начали развиваться перспективные направления химико-фотографической обработки: выравнивающее и предопределяющее высокую светочувствительность проявление, глубоко изученное С. Г. Богдановым совместно с Н. В. Поляковой [80], ускоренная и «сухая» обработка (Г. П. Фаерман и В. А. Вейденбах с их сотрудниками).

Широкое развитие получили физико-фотографические исследования. Сюда относятся, во-первых, работы по сенситометрии цветофотографических материалов, проводившиеся под руководством Ю. Н. Гороховского при деятельном участии Д. К. Балабухи, И. Н. Конюшковой, Т. М. Левенберг и К. Б. Поповой [81]. Далее, были развернуты работы по исследованию тонкой структуры фотографического изображения: по взаимосвязи характера светорассеяния в эмульсионном слое и его разрешающей способности — П. Х. Прусс [82], по количественной характеристике резкости края изображения — Ю. К. Вифанский [83] и по применению метода частотно-контрастных функций — А. Т. Ащеулов с Т. А. Павличук и М. Д. Хухриной, Ю. Н. Гороховский с А. А. Баранцевой и Р. П. Филимоновым и П. Х. Прусс [84].

Проводились работы по теории и технике электрофотографии под руководством С. Г. Гренишина при активном участии К. М. Виноградова, П. М. Подвигалкина и Ю. А. Черкасова [85].

В лаборатории акад. А. Н. Теренина [86] были выполнены интересные исследования, посвященные механизму оптической сенсibilизации полупроводников. Отметим особо многолетние работы И. А. Акимова [87] по сенсibilизации фотопроводимости галлоидного серебра и других солей.

Наконец, надо отметить получившие широкий размах теоретические и конструктивные разработки в области фотоаппаратуры (В. И. Морда-сов, И. А. Черный, Л. П. Чураев и др.) и разработки образцов высокоскоростной киноаппаратуры для научных целей (Л. А. Самуров, И. А. Чер-ный, Ю. П. Щепеткин и др.) [88].

Важные работы в сфере создания эмульсионных слоев для целей ядерной фотографии велись, кроме НИКФИ, в Радиовом институте им. В. Г. Хлопина (проф. Н. А. Перфилов с сотрудниками), в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова (Д. М. Самойлович) и в других местах.

Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэро-съемки и картографии (ЦНИИГАИК) до войны мало проявлял себя в ин-тересующей нас области, если не считать деятельности его ленинградского отделения, во второй половине 30-х годов прекратившего свое существо-вание. После войны, с созданием в институте аэрофотографического отдела, возглавляемого В. Я. Михайловым [89], одним из старейших деятелей в области фототехники и фотографической химии, институт стал зна-чительным научным центром по таким вопросам, как химико-фотогра-фическая обработка черно-белых и цветных аэрофотоэмульсий и бумаг, сенситометрия аэрофотографического процесса, оценка качества аэрофо-тографического изображения и применяемой для его получения оптики методом частотно-контрастных функций (О. А. Герасимова).

В конце 40-х годов в Ленинград из Москвы по инициативе С. И. Вави-лова была перебазирована основанная акад. А. Е. Ферсманом лабора-тория аэрометодов АН СССР, имевшая примерно те же задачи, что и су-ществовавший в начале 30-х годов ленинградский институт, также орга-низованный А. Е. Ферсманом. Однако теперь эта лаборатория работала в очень скромных масштабах. Под руководством члена-корр. АН СССР Н. Г. Келля лаборатория стала видным центром аэрофотографии по изу-чению производительных сил нашей необъятной Родины. Ее собственно фотографический отдел много лет возглавлял проф. К. С. Ляликов [90], а теперь возглавляет Д. А. Янущи.

В Вильнюсе по инициативе Академии наук Литовской ССР был орга-низован в середине 50-х годов Институт электрографии, ставший к на-стоящему времени основным центром исследований и разработок в быстро развивающейся области электрофотографии.

Обратимся, наконец, к научной деятельности высших учебных заве-дений в области научной фотографии.

В Московском университете была создана общеуниверситетская ка-федра научной и учебной фотографии и кинематографии, во главе которой стал К. В. Чибисов. Параллельно с огромной учебной работой [91] ка-федра веда и ведет значительную научно-исследовательскую работу как по теории фотографических эмульсий, о чем упоминалось выше, так и по применениям фотокинематодов для целей научного исследования.

Ленинградский институт киноинженеров, до окончания войны мало занимавшийся научной деятельностью, превратился теперь в значитель-ный центр научной мысли в сфере кинотехники и фотографической химии. В этой последней области укажем на возглавляемые проф. И. Б. Блюм-бергом различные работы по теории технологии машинной химико-фото-графической обработки киноэмульсий и по скоростной обработке фотома-териалов [92], на цикл физико-химических исследований эмульсионных



СЕРГЕЙ ЛЬВОВИЧ ЛЕВИЦКИЙ (1819—1898).

Первый крупный русский фотограф-художник, автор се-рии портретов выдающихся деятелей русской культуры XIX в. Одним из первых применил электрическое осве-щение для фотосъемок.

ЛЕВ ВИКЕНТЬЕВИЧ ВАРНЕРКЕ
(ВЛАДИСЛАВ МАЛАХОВСКИЙ?)
(1837—1900).

Талантливый изобретатель во многих областях фотографии [первой катушечной фотокамеры (1875) и негативного материала на отъемной бумажной подложке для нее, процесса получения рельефа вымывания на базе пирогаллового проявляния (1881), первого стандартизованного сенситометра по шкале освещенностей (1881) и т. д.]. Инициатор создания (1878) первого в России общественного центра по научно-техническим вопросам фотографии — V (фотографического) отдела Русского технического общества в Санкт-Петербурге.



ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ
ЛЕРМАНТОВ (1845—1919).

Автор первой научно обоснованной («гальванической») теории фотографического проявления (1877). Организатор при Петербургском университете первой в России учебной лаборатории по физике.



КЛИМЕНТ АРКАДЬЕВИЧ ТИМИРЯЗЕВ
(1843—1920).

Член-корреспондент Российской Академии наук. Выдающийся ботаник и биохимик, установивший связь между процессами сенсibilизации при фотосинтезе и оптической сенсibilизацией галондного серебра в фотографии (1885).

ЕВГЕНИЙ ФЕДОРОВИЧ БУРИНСКИЙ
(1849—1912).

Основатель судебной фотографии и фотографических методов выявления угасших текстов. За эти последние разработки Российская академия наук присудила ему в 1898 г. Ломоносовскую премию.





ВЯЧЕСЛАВ ИЗМАЙЛОВИЧ СРЕЗНЕВСКИЙ (1849—1937).

Создатель первых отечественных фотокамер научного назначения [для экспедиций Н. Пржевальского (1882), для съемок с воздушного шара (1886) и под водой, для регистрации солнечных затмений (1887)]. Руководитель единственного в дореволюционной России, просуществовавшего около 40 лет полупромышленного производства фотографических материалов для научно-технических целей («Лаборатория Варнерке и К^о»). Бессменный руководящий деятель V (фотографического) отдела Русского технического общества (с 1878 г. до 20-х годов нашего века). Один из основателей и председатель ученого совета Высшего института фотографии и фототехники в Петрограде (1918—1923). Автор старейших карманных справочников по фотографической технике (80-е годы).



ИВАН ВАСИЛЬЕВИЧ БОЛДЫРЕВ (1850—?)

Художник-фотограф. Изобретатель первого в мире фотографического материала на тонкой прозрачной негорючей подложке типа пластической массы — так называемых смоловидных пластинок (1882).



СЕРГЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ КОСТИНСКИЙ (1867—1936).

Член-корреспондент АН СССР. Пудковский астроном, впервые установивший большую роль фотографических микроэффектов в астрофотографии (1904).



АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ
ПОПОВИЦКИЙ
(1868(?)—1923).

Специалист по фотомеханическим процессам. Один из основателей и первый ректор Высшего института фотографии и фототехники в Петрограде.



ГАВРИИЛ АДРИАНОВИЧ ТИХОВ
(1875—1960).

Член-корреспондент АН СССР. Пулковский астроном, автор метода спектрональной фотографии, применявшегося им для целей планетоведения.



НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ШИЛОВ
(1872—1930).

Профессор физической химии Московского высшего технического училища, автор исследований реакций сопряженного окисления при фотографическом проявлении.



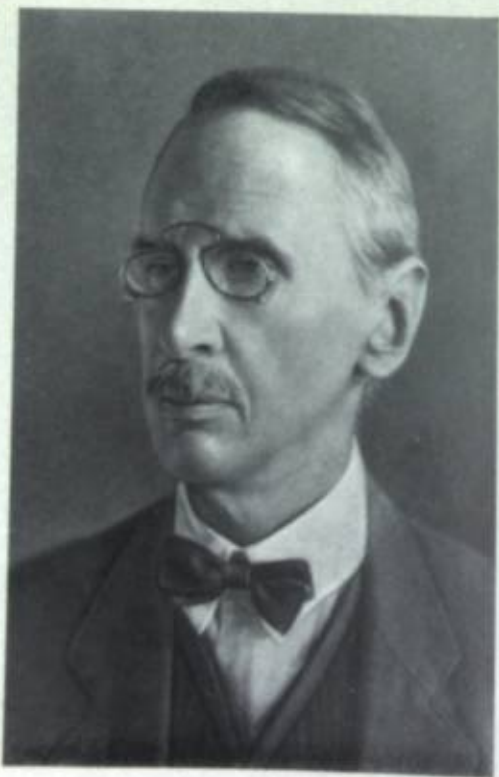
АЛЕКСАНДР ИЛАРИОНОВИЧ
ТУДОРОВСКИЙ (1875—1963).

Член-корреспондент АН СССР. Основатель советской научной школы вычислительной оптики. Автор фундаментальной «Теории оптических приборов».



ДМИТРИЙ ИЛЬИЧ ЛЕЩЕНКО
(1876—1937).

Первый руководитель фотокиноотдела и секретарь Народного комиссариата просвещения (1918—1920), руководитель Севзапкино в 1921—1923 гг., один из основателей и профессор Высшего института фотографии и фототехники, бессменный заведующий Ленинградским фотокинотехникумом (1924—1930). С 1900 г. — член РСДРП, видный деятель партии.



СЕРГЕЙ ОЛИМШНЕВИЧ МАКСИМОВИЧ
(1876—1941).

Специалист по фотомеханическим процессам. Автор ряда исследований в области сенситометрии (явление Максимовича-Калдзе, сенситометрия фотографических бумаг), изобретатель некоторых способов цветной кинематографии. Профессор Высшего института фотографии и фототехники и Ленинградского фотокинотехникума.



ТОРИЧАН ПАВЛОВИЧ КРАВЕЦ (1876—1955).

Член-корреспондент АН СССР. Основатель ленинградской научно-фотографической школы. Автор фундаментального исследования поглощения света в растворах окрашенных веществ (1912) и, совместно с М. В. Савостьяновой, фотолиза галогенного серебра и природы скрытого фотографического изображения (1928—1944). Историк физики, редактор перевода и комментатор переписки Дагерра и Ньенса, хранящейся в СССР.



**АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ
ПОРАЙКОШИН (1877—1949).**

Действительный член АН СССР.
Специалист по химии красителей. Автор исследований по реакциям цветного проявления.



**ЕЛПИДИФОР АНЕМПОДИСТОВИЧ
КИРИЛЛОВ (1882—1964).**

Основатель одесской научной школы в области фотохимии галогенидов серебра и научной фотографии. Автор цикла исследований тонкой структуры спектров поглощения галондосеребряных слоев и родственных систем.



**ЯКОВ МАТВЕЕВИЧ КАТУШЕВ
(1885—1958).**

Организатор, впервые в СССР (1928), подготовки инженеров химиков-фототехнологов в Московском высшем техническом училище. Автор, совместно с В. И. Шеберстовым, учебника «Основы теории фотографических процессов» (1944 и 1954).



**ЛЕВ ВЛАДИМИРОВИЧ МЫСОВСКИЙ
(1888—1939).**

Специалист по физике явления радиоактивности. Создатель, при участии А. П. Жданова, метода толстослойных пластинок для регистрации элементарных частиц (1927).

АЛЕКСАНДР ФЕДОРОВИЧ ШОРИН
(1890—1941).

Изобретатель во многих областях техники связи, создатель отечественной системы звуковой кинематографии с поперечной записью (1928). Инициатор создания Ленинградского института киноинженеров (1931).



ДМИТРИЙ ДМИТРИЕВИЧ МАКСУТОВ
(1896—1964).

Член-корреспондент АН СССР. Специалист по астрономической и фотографической оптике, автор ряда типов зеркальных и зеркально-линзовых объективов. Автор нескольких монографий в этой области.



АДОЛЬФ НИСИФОВИЧ РАВИНОВИЧ
(1893—1942).

Член-корреспондент АН СССР. Основатель лабораторий коллоидной химии и фотохимии в Физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова в Москве. Автор ряда исследований по теории проявления, фотографическому желатину и т. д.

АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ
ТЕРЕШИН (1896—1967).

Действительный член АН СССР. Спектроскопист и фотохимик, глава крупной научной школы в этой области. Ввел представление о триплетном состоянии оптически возбужденных молекул, вступающих в фотохимическую реакцию. Автор фундаментальных монографий — «Фотохимия красителей и родственных органических соединений» (1947) и «Фотохимия молекул красителей и родственных органических соединений» (1967).





НИКОЛАЙ ДМИТРИЕВИЧ НЮБЕРГ
(1898—1967).

Специалист в области цветоведения и теории цветной репродукции. Создатель метода цветоделительных испытаний многослойных цветофотографических материалов. Автор монографии «Теоретические основы цветной репродукции» (1948).



ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФААС
(1904—1941).

Основатель теоретических представлений в области аэрофотографии, в основном в отношении борьбы с вредным влиянием мутности атмосферы. Автор монографии «Светофильтры» (1936).



ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ (АНДРЕЕВИЧ) ЧЕРНЫЙ (1906—1970).

Крупный специалист по фотоаппаратостроению и высокоскоростной фотографии и кинематографии, создатель многих оригинальных типов такой аппаратуры. Автор ряда разработок в области фотографической сенситометрии и резольвометрии.



ЯКОВ ИСААКОВИЧ БОКИНИК
(1904—1945).

Исследователь в области теории оптической сенсibilизации галогеносеребряных фотографических эмульсий и в области цветной фотографии. Автор монографий «Оптическая сенсibilизация фотографических слоев» (1937) и «Теория и практика цветной фотографии» (1941).



АНАТОЛИЙ ТИМОФЕЕВИЧ
АЩЕУЛОВ
(1904—1964)

Специалист по теории тонкой структуры оптического и фотографического изображений, в особенности по вопросам применения методов гармонического анализа в этой области.



АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ ЖДАНОВ
(1904—1969).

Соавтор (с Л. В. Мысовским) создания метода толстослойных пластинок для регистрации элементарных частиц.

стабилизаторов (Г. П. Фаерман и В. А. Павлова) [93], на работы по светочувствительным полимерам (К. С. Ляликов с сотрудниками) [94] и по структурным свойствам фотографических материалов (Ю. Н. Гороховский и Т. М. Левенберг) [95].

В послевоенные годы важным центром в области фотохимии галогенного серебра стала Одесса, в основном в результате деятельности Физического института Одесского университета. Эта деятельность шла по координированному между Е. А. Кирилловым и К. В. Чибисовым плану и главным образом заключалась в широком использовании разработанного в этом институте высокочувствительного спектрофотометрического метода. Главное направление обширных исследований, возглавлявшихся Е. А. Кирилловым [96], составили работы по изучению примесного спектрального поглощения фотохимически окрашенных тонких пленок галогенного серебра и слоев липпмановской эмульсии, напылений серебра на эти слои, действия света на фотохимически окрашенные слои (явление выцветания), спектрального поглощения первичных центров и центров скрытого изображения, внешних и внутренних центров, спектрального распределения фотоэффекта и фотовольтаического эффекта и др. Эти работы, в которых принимали участие С. Я. Плотичер, М. Е. Фонкич, Е. А. Нестеровская, Т. Е. Нечаева, А. Б. Гольденберг и мн. др., обобщены в монографии Е. А. Кириллова [97].

Развитием идей школы Е. А. Кириллова явилось подробное исследование спектров поглощения напыленного серебра и других металлов (А. Н. Латышев), подтвердившее явление тонкой структуры [98].

Другое направление посвящено исследованию химического созревания и разного вида химической сенсibilизации фотографических эмульсий эволюции примесных центров при созревании, процесса фотолиза и образования скрытого изображения и вуали, примесной спектральной светочувствительности и др. (Ж. Л. Броун, К. В. Чибисов и др.) [99]. Вместе с химико-фотографическими данными эти работы привели к выводу об единстве всех стадий образования фотографического изображения как восстановительно-окислительного процесса.

К числу важных работ следует отнести люминесцентные исследования сначала кристаллофосфоров галогенного серебра, а позднее (с 1959 г.) фотографических эмульсий (В. М. Белоус, Л. П. Мельничук [100]). Работы с эмульсиями позволили получить ценные сведения о природе химической сенсibilизации, функциях примесных центров в фотохимическом акте, роли ионов иода в смешанных эмульсиях и др. Полученные результаты находятся в согласии с выводами об указанном выше единстве. В последнее время люминесцентные исследования фотографических эмульсий привлекли внимание П. В. Мейкляра, причем его результаты совпали с опубликованными ранее В. М. Белоусом.

Нет возможности в рамках краткого очерка останавливаться на исследованиях, систематически ведущихся в нефотографических организациях: в Главной астрономической обсерватории в Пулкове (И. И. Брейдо), в Киевском институте судебной экспертизы (Н. М. Зюскин), в Институте кристаллографии АН СССР (В. М. Фридкин), в Ленинградском институте советской торговли (А. Л. Картужанский), в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта (А. С. Дубовик, Г. Л. Ширман) и во многих других местах.

Фотографическая научно-техническая общественность

В дореволюционные времена, когда не существовало ни научных центров в нашей области, ни сколько-нибудь развитой фотографической и оптической промышленности, основным и почти единственным центром

научной фотографии являлся выше уже упоминавшийся V отдел Русского технического общества [101], получавшего известную поддержку со стороны правительственных органов и помещавшегося в так называемом Соляном городке, а также имевшего ряд отделений в разных городах. После Октябрьской революции это общество было признано в ряде отношений несозвучным веяниям новой эпохи, что привело к его ликвидации.

С конца 20-х годов инженерно-техническая общественность стала объединяться вокруг возникших к этому времени специальных научных учреждений. Такая роль выпала, в частности, на долю ГОИ, который в ноябре 1932 г. провел в Ленинграде Первую Всесоюзную конференцию по научной фотографии с очень широкой программой. Эта конференция, по единодушному мнению ее многочисленных участников, сыграла выдающуюся роль в объединении советской инженерно-технической общественности, поскольку на ней впервые встретились молодые работники химико-фотографической, оптико-механической и кинотехнической промышленности и незадолго до этого созданных научных учреждений самых различных специальностей с учеными старшего поколения — Д. С. Рождественским, С. И. Вавиловым, В. И. Срезневским, С. О. Максимовичем, Т. П. Кравцем, А. Ф. Шориным, А. И. Рабиновичем и К. В. Чибисовым.

В довоенные годы были созваны еще два аналогичных совещания по научной фотографии — в 1937 г. в Москве при Отделении технических наук АН СССР (здесь впервые наш высший научный орган проявил заинтересованность в судьбах фотографической науки) и в 1941 г., за несколько месяцев до начала войны, вновь в ГОИ и вслед за тем в Физическом институте при ЛГУ.

Во второй половине 30-х годов в Ленинграде активно работало Ленинградское инженерно-техническое общество кинофотопромышленности, возглавлявшееся профессором Т. П. Кравцем. Были и некоторые другие, недолго просуществовавшие общественные организации.

В 1948 г. в системе Академии наук СССР по инициативе тогдашнего президента Академии С. И. Вавилова была сформирована Комиссия по научной фотографии и кинематографии, ставшая основным центром научно-фотографической общественности страны. Задачами комиссии стали содействие развитию и координации научно-исследовательских работ и научно-технических применений фотографии и кинематографии; проведение научных совещаний и заседаний; научная пропаганда и издательская деятельность в данной области [102]. В 1963 г. комиссия подверглась частичной реорганизации и стала называться Комиссией по химии фотографических процессов АН СССР. Ее бессменным председателем является член-корр. К. В. Чибисов. Ее ленинградское отделение до 1955 г. возглавлялось член-корр. Т. П. Кравцем, а после его кончины — проф. Ю. Н. Гороховским.

Комиссия организовала 17 совещаний по научной фотографии (с 4-го по 20-е), в подавляющем большинстве посвященных отдельным крупным проблемам, несколько научных дискуссий и симпозиумов, 75 открытых научных заседаний (из них около 60 в Ленинграде). Два заседания были посвящены 125-летию изобретения фотографии (в Москве и Ленинграде). В Ленинграде была организована содержательная выставка по истории фотографии [103].

Комиссия имеет два печатных органа. Один из них — «Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии», выходящий с 1956 г. шестью выпусками в год. Второй орган — неперiodические сборники «Успехи научной фотографии», выходящие с 1951 г. и посвященные в основном трудам отдельных совещаний по научной фотографии; к 1968 г. вышло 13 томов этих сборников.

Заключение

В настоящем кратком очерке можно было изложить лишь основные направления развития советской фотографической науки и коснуться наиболее важных достижений в этой области. Тем не менее приведенные сведения показывают, сколь грандиозными были объем и успехи, достигнутые на этом участке советской науки благодаря условиям, созданным после Октябрьской революции. В Тезисах ЦК КПСС «50 лет Великой Октябрьской социалистической революции» отмечается, что с первых лет Советской власти наука стала государственным делом, предметом ее постоянной заботы: «Советское государство даже в самые тяжелые для страны годы не жалело средств на организацию широкой сети научно-исследовательских учреждений, развитие фундаментальных и прикладных направлений науки, экспериментальной базы научных исследований, подготовку кадров». Это целиком относится и к фотографической науке.

Наглядное представление о масштабах развития советской фотографической науки может дать число опубликованных за прошедшее время статей и книг. За 40 лет существования Советского государства было опубликовано свыше шести тысяч разного рода сообщений и книг по фотографии и кинематографии, в настоящее же время это число приблизилось к десяти тысячам.

Достижения отечественной фотографической науки привлекают пристальное внимание далеко за пределами нашей страны. Давно прошло то время, когда русскую науку часто игнорировали — «не замечали». По этому поводу великий русский кристаллограф Е. С. Федоров с горечью писал [104]: «Мне кажется общеизвестным то особенное отношение иностранных ученых к русским сочинениям, которое признает их как бы несуществующими. Это отрицательное отношение иностранных ученых часто вызвано только тем, что работа составлена по-русски, хотя бы с соблюдением всех международных правил. . . Мне всегда казалось обидным такое подчиненное отношение к русской ученой литературе — литературе одной из величайших наций, имеющей громадную будущность».

Работы по фотографической науке, публикуемые в названных выше изданиях, постоянно реферируются в зарубежных журналах. Ряд монографий советских авторов (Н. А. Валуев, Ю. Н. Гороховский, Б. В. Дерягин, К. С. Ляликов и др.), вышедших в последние годы, переведены на английский язык и изданы в научно-фотографической серии «Фокал Лайб-рери» (издательство «Фокал Пресс» в Лондоне). Все это указывает на то, что советская фотографическая наука выросла до такого уровня, что ее вклад в мировую науку становится все более значимым. Вместе с тем постоянно расширяющиеся требования к фотографии и кинематографии со стороны других отраслей науки и народного хозяйства нашей страны ставят перед химико-фотографической и оптико-механической промышленностью, а следовательно и перед отечественной фотографической наукой, все более сложные задачи, решение которых является для нее вполне полным делом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. В. Лермантов, ЖРФХО, 1877, 9, 301; Фотограф, 1881, 2, 181—186; О химическом и фотографическом действии света. СПб., 1879.
- [2] Н. Н. Хамаитов, Фотограф, 1882, 3, 97—98.
- [3] Ю. Ш. Мошковский, Усп. научн. фотограф., 1954, II, 245—250.
- [4] В. Б. С., Фотограф, 1882, 3, 33—40; В. И. Срезневский, Справочная книжка фотографа. СПб., 1883, стр. 138—139.
- [5] Н. А. Шилов, С. Н. Федотов, Z. Elektrochem., 1912, 18, 929—239; Н. А. Шилов, Е. В. Тимченко, там же, 1913, 19, 816—819.
- [6] Я. М. Катусев, К теории фотографического проявителя. М., 1915.
- [7] К. А. Тимирязев, Избр. соч., т. 1, Изд. АН СССР, М., 1948, стр. 226, 309, 625.

- [8] W. R o s e r, Wiadomości chemiczne (Wrocław), 1952, 6, 473—478; Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, 11, 55—70.
- [9] К юбилею В. И. Срезневского. Вести. фотографии, 1916, вып. 4—6; Ю. Н. Гороховский. Научная биография Вячеслава Измайловича Срезневского, 1949, 9 стр. (личный архив, рукопись).
- [10] С. Л. Левицкий. Фотографический ежегодник П. М. Деметьева, т. 1. СПб., 1892, стр. 177—189.
- [11] С. Л. Левицкий. Фотограф, 1882, 3, 65—66; 1883, 4, 142.
- [12] J. M. E d e r, Geschichte der Photographie, IV Aufl., Halle a/S, 1932, 530—531, 608, 625—626.
- [13] Записки Русск. техн. общ., 1878, 12, вып. 4, 51; вып. 5, 130; Фотограф, 1880, 1, 32—34.
- [14] И. В. Болдырев. Изобретения и усовершенствования, сделанные по фотографии И. В. Болдыревым. СПб., 1883, 1886.
- [15] Е. Ф. Буринский. Судебная экспертиза документов, производство ее и пользование ею. СПб., 1903.
- [16] Е. Ф. Буринский. Изв. Имп. Академии наук, 1896, 4, 315—340.
- [17] Г. А. Тихов. Изв. Русск. астрон. общ., 1910, 16, 174—182; 1911, 17, 169—179; Изв. Гл. астрон. observ., 1914, 6, 15—26.
- [18] С. З. Мандель, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 3—12.
- [19] ЖРФХО, физ. отд., 1919, 51, 319—320, 328—329, 347.
- [20] Г. А. Тихов. Улучшение фотографической и визуальной воздушной разведки. Киев, 1917; В. А. Фаас. Светофильтры. Кинофотонадат, М., 1936.
- [21] К. В. Чибисов, Kinotechnik, 1929, 11, 9, 12, 14; Sci. Ind. Phot. [1], 1926, 6, 60; Ж. практ. fotogr. «Фотограф», 1928, 3, 29, 77, 152, 212, 281; Усп. физ. наук, 1930, 10, 367—399.
- [22] Д. С. Рождественский, в сб.: XV лет Государственного оптического института, ГТТИ, Л.—М., 1934, стр. 18—19.
- [23] Г. П. Фаерман, в сб.: 15-й годовщине Октября. Научно-исследовательские работы Гос. опт. инст. в обл. химии. Госхимтехнадат, Л., 1932, стр. 67—87.
- [24] Т. П. Кравец, в сб.: XV лет Государственного оптического института, ГТТИ, Л.—М., 1934, стр. 225—250.
- [25] К. В. Чибисов. Кинофотохимпром., 1937, 5, вып. 10, 34—41.
- [26] В. А. Каргин. Изв. АН СССР, Отд. хим. наук, 1943, 81—86.
- [27] Тр. Гос. и-иссл. инст. геодезии и картографии, 1930, 1; 1931, 2; 1931, 4.
- [28] В. И. Шеберстов, Н. И. Кириллов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1958, 3, 472.
- [29] Тр. НИКФИ, 1932, вып. 1; 1934, вып. 2, 1935, вып. 3.
- [30] К. В. Чибисов. Физико-химическая интерпретация созревания фотографических эмульсий. Влияние на фотографические свойства эмульсий основных компонентов и факторов эмульсионной среды. В кн.: П. В. Козлов. Технология фотокиннопленки, т. 2. Гизлегпром, М.—Л., 1937, стр. 11—56, 57—168.
- [31] ГОСТ 317-52. Желатина фотографическая.
- [32] И. И. Левкоев. Дополнительные вещества, вводимые в фотографическую эмульсию. В кн.: П. В. Козлов. Технология фотокиннопленки, т. 2. Гизлегпром, М.—Л., 1937, стр. 219—254.
- [33] П. В. Козлов. Технология фотокиннопленки, т. 1. Гизлегпром, М., 1933.
- [34] Тр. НИКФИ, 1937, вып. 4.
- [35] Т. П. Кравец, Труды по физике, Изд. АН СССР, М.—Л., 1959, стр. 207—244.
- [36] М. В. Савостьянова, А. С. Топорев, ДАН СССР, 1934, 2, 225—231; С. В. Чердынцев, ЖФХ, 1941, 15, 419—447.
- [37] Г. П. Фаерман, С. И. Чербов, Фотохимпром., 1934, 2, вып. 3, 30—34; Г. П. Фаерман, Усп. научн. fotogr., 1955, III, 157—167.
- [38] С. В. Чердынцев, Тр. ГОИ, 1933, 9, вып. 88, 1—45; К. С. Ляликов. Теория фотографических процессов. Госкинонадат, М., 1947, стр. 181—198.
- [39] Ю. Н. Гороховский, Тр. ГОИ, 1941, 14, 321—350; Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, М., 1960, гл. 1—3.
- [40] Кинофотохимпром., 1939, 5, вып. 7—12.
- [41] Т. П. Кравец, Кинофотохимпром., 1939, 5, вып. 7, 9—11; Ю. Н. Гороховский, там же, стр. 33—35.
- [42] ГОСТы 2817-45, 2818-45 и 2819-45. Фотографические материалы на прозрачной подложке. Методы общесенситометрического, спектросенситометрического и резольвометрического испытаний.
- [43] Тр. ГОИ, 1931, 7, вып. 75; 1935, 11, вып. 98.
- [44] Ю. Н. Гороховский, ЖПХ, 1932, 5, 770—786.
- [45] К. С. Ляликов, Кинофотохимпром., 1937, 3, вып. 2, 6—20.
- [46] Ф. Л. Бурмистров. Точная фотография, Оборонгиз, М.—Л., 1939.
- [47] А. И. Рабинович, ЖФХ, 1933, 4, 630—639, 641—651; 1936, 7, 465—482.
- [48] В. И. Шеберстов. Химия проявителей и проявления, изд. 2, §§ 60—62, Госкинонадат, М., 1941.
- [49] Я. И. Бокниин. Оптическая сенсбилизация фотографических слоев, гл. IV—VI, Изд. «Искусство», М.—Л., 1937.
- [50] С. В. Натансон, ЖФХ, 1939, 13, 1620—1624; 1940, 14, 989—995.
- [51] Л. В. Мысовский, П. Чижев, Z. Physik, 1927, 44, 408—420; А. П. Жданов, Л. В. Мысовский, ДАН СССР, 1939, 25, 9—10; А. П. Жданов, J. Physique et Radium, 1935, 6, 233—241; ДАН СССР, 1938, 20, 645—646, 1940, 28, 109—113.
- [52] Е. Л. Кринов. Спектральная отражательная способность природных образований. Изд. АН СССР, М.—Л., 1947.
- [53] В. В. Шаронов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1957, 2, 471—473.
- [54] В. А. Фаас, Светофильтры. Кинофотонадат, М., 1936.
- [55] Е. А. Кириллов, Z. wiss. Phot., 1929, 26, 235—248; 1931, 28, 367—373.
- [56] А. Ф. Шорин. Как экран стал говорящим. Госкинонадат, М., 1949; А. С. Полицкий, Усп. научн. fotogr., 1957, V, 193—199.
- [57] Е. М. Голдовский. 30 лет советской кинотехники. Госкинонадат, М., 1950.
- [58] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1966, 11, 238—239.
- [59] И. И. Левкоев, А. Ф. Вомпе и Н. Н. Свешников, Хим. наука и пром., 1958, 3, 587—606; Тр. НИКФИ, 1960, вып. 40.
- [60] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1967, 12, 397—421.
- [61] Тр. НИКФИ, 1959, вып. 29; 1962, вып. 47.
- [62] А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1957, 2, 28—34; 1958, 3, 275—280; 1964, 9, 210—211.
- [63] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, Хим. наука и пром., 1958, 3, 576—587.
- [64] Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1968, 13, 78—79.
- [65] Н. Д. Нюберг, Г. С. Баранов, Н. С. Овечкис, Усп. научн. fotogr., 1954, II, 72—84; Н. Д. Нюберг, там же, 134—144.
- [66] Л. Ф. Артюшин. Цветовая коррекция киноизображений. Автореф. докт. дисс. НИКФИ, 1968.
- [67] ГОСТ 9160-59.
- [68] К. С. Богомолов, Хим. наука и пром., 1958, 3, 623—628.
- [69] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1958, 3, 299—306; 1968, 13, 57—69.
- [70] Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1968, 13, 473.
- [71] Н. И. Кириллов. Теория непрерывных процессов обработки светочувствительных материалов. Госкинонадат, М., 1948.
- [72] Н. И. Кириллов, В. И. Шеберстов, Хим. наука и пром., 1958, 3, 615—622; С. М. Антонов, В. Л. Зеликман, К. И. Мархилевич. Кинопленка и ее обработка. Госкинонадат, М., 1950.
- [73] Тр. НИКФИ, 1948, вып. 8; К. В. Чибисов. Основные проблемы химии фотографических эмульсий. Изд. МГУ, 1962.
- [74] Е. А. Галашин, ДАН СССР, 1966, 171, 366—369; ЖФХ, 1968, 42, 1161—1166.
- [75] Е. П. Сеиченков, К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1968, 13, 447—454.
- [76] К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1966, 11, 78—79.
- [77] Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. fotogr., 1957, V, 200—205; Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1966, 11, 314—315.
- [78] Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1964, 9, 318—319.
- [79] И. Р. Протас, П. Х. Прусс и др., Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1961, 6, 294—296; 1962, 7, 96—102; Усп. научн. fotogr., 1951, I, 60—70; 1964, X, 262—266.
- [80] С. Г. Богданов, Н. В. Полякова, Усп. научн. fotogr., 1955, III, 204—211; IV, 202—209.
- [81] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, М., 1960.
- [82] П. Х. Прусс, Усп. научн. fotogr., 1964, X, 235—242.
- [83] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1959, 4, 276—284, 345—355; 1960, 5, 15—19; 1962, 7, 290—296, 369—379.
- [84] А. Т. Ащеулов и др., Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1959, 4, 465—476; 1960, 5, 148—159; Усп. научн. fotogr., 1964, X, 7—22; А. А. Баранцева, Ю. Н. Гороховский, Р. П. Филлимонов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1967, 12, 220—226; П. Х. Прусс, Усп. научн. fotogr., 1966, XI, 222—230.
- [85] Сб. «Электрография и магнитография», Вильнюс, 1959, стр. 44—55, 251—259; Ю. А. Черкасов. Спектральные исследования электрографического процесса на полупроводниковых слоях и методы повышения его светочувствительности. Автореф. канд. дисс. ГОИ, Л., 1964.

- [86] А. Т. Вартамян, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 310—312.
- [87] И. А. Акимов, в сб.: Элементарные фотопроецессы в молекулах, изд. «Наука», М.—Л., 1966, стр. 397—417.
- [88] Л. А. Самуров, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 278—285; Усп. научн. фотогр., 1959, VI, 121—130; И. А. Черный, Л. С. Шмелькин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 173.
- [89] Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 318—319.
- [90] Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 318—319.
- [91] В. Г. Пелль, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 151—152.
- [92] Н. Б. Блюмберг. Технологии обработки фотокиноматериалов, изд. «Искусство», М., 1967; Н. Б. Блюмберг и др., Тр. ЛИКИ, 1968, 13, 247—254.
- [93] Г. П. Фаерман и др., Усп. научн. фотогр., 1957, V, 75—126; Тр. ЛИКИ, 1968, 13, 223—236.
- [94] К. С. Ляликов и др., Тр. ЛИКИ, 1968, 13, 209—222.
- [95] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Тр. ЛИКИ, 1968, 13, 237—247.
- [96] К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 237—238.
- [97] Е. А. Кириллов. Тонкая структура в спектре поглощения фотохимически окрашенного галогидного серебра. Изд. АН СССР, М., 1954.
- [98] А. Б. Гольденберг, А. Н. Латышев, Е. А. Нестеровская, К. В. Чибисов, J. Phot. Sci., 1968, 16, 89—101.
- [99] К. В. Чибисов, Усп. научн. фотогр., 1966, XI, 5—21; Ж. Л. Броун, Л. П. Мельничук, там же, 22—28; К. В. Чибисов, Ж. Л. Броун, там же, 1968, XIII, 22—29.
- [100] В. М. Белоус, Л. П. Мельничук, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 99—101, 286—289.
- [101] В. И. Срезневский, Ж. практ. фотогр. «Фотограф», 1927, 2, 376—380.
- [102] Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 239.
- [103] Ю. Н. Гороховский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 234—238.
- [104] Е. С. Федоров, Зап. Минерал. общ., 1891, 28, 374—375.

П. В. МЕЙКЛЯР

ПРИРОДА ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ОБРАЗОВАНИЕ СКРЫТОГО ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В нашей стране были проведены фундаментальные исследования природы фотографической чувствительности и механизма образования скрытого фотографического изображения. Следует назвать три крупные советские школы: ленинградскую, основателем которой был член-корр. АН СССР Т. П. Кравец, московскую во главе с членом-корр. АН СССР К. В. Чибисовым и одесскую, которой руководил в течение многих лет проф. Е. А. Кириллов. В последние годы интересы последних двух школ сблизились и многие важные исследования ими были проведены совместно.

Образование скрытого изображения

Можно сказать, что главным достижением ленинградской школы физиков явилось установление природы центров скрытого изображения и вообще частиц фотолитического серебра. Этому предшествовало изучение спектра поглощения окрашенных щелочно-галогидных кристаллов [1]. Теорией рассеяния света мелкими частицами металла, находящимися в диэлектрике, была объяснена природа синей каменной соли. М. В. Савостьянова показала, что вся совокупность наблюдаемых окрасок вызвана различием в размерах частиц. Применение теории Ми к рассеянию света мелкими частицами серебра в галогидном серебре позволило объяснить [2] фотохимическое окрашивание кристаллов галогенидов серебра и сдвиг максимума полосы поглощения со временем освещения, определяющийся укрупнением частиц серебра [3]. Оказалось, что опытные кривые поглощения значительно шире расчетных, что, по-видимому, определяется полидисперсностью частиц. Образование частиц фотолитического серебра удалось наблюдать с помощью ультрамикроскопа [4]. Одновременно было изучено [4] рассасывание частиц фотолитического серебра под влиянием длинноволнового света и дихроизм, возникающий при рассасывании частиц серебра поляризованным светом [5].

Рассасывающее действие длинноволнового света изучали [6] также на фотографических слоях; было показано, в частности, что этот эффект усиливается с введением десенсибилизатора и понижением рВг.

Е. А. Кириллов [7, 8], изучая фотоэффект на засвеченных слоях, обнаружил в той же области спектра, где возникает при фотолизе дополнительное поглощение, фотопроводимость; это впоследствии позволило ему и Т. П. Кравцу прийти к выводу, что разрушение частиц фотолитического серебра под влиянием длинноволнового света начинается с высвобождения из них электронов, после чего следует выделение ионов серебра.

За границей некоторые авторы [9—11] определяли размер частиц серебра и их число, как и М. В. Савостьянова, пользуясь теорией Ми. Было отмечено, что на ранних стадиях выделения серебра центры окраски не рассеивают свет, только его поглощают. Кроме того, при введении в кристалл различных сенсibilизирующих примесей — ионов меди (I) и серы — характер и скорость выделения частиц серебра меняются. К этому вопросу мы вернемся в дальнейшем.

Изменение спектра поглощения галогенидов серебра и липпмановских фотографических слоев при весьма слабых засветках установлено Е. А. Кирилловым и его сотрудниками [12] путем применения весьма чувствительной спектроскопической установки. Была обнаружена целая серия мелких пиков, расположенных в весьма широкой области спектра и названных автором тонкой структурой. Хотя Мозер [13] не смог обнаружить тонкой структуры на аналогичных слоях, а Сирл [14] пришел к выводу, что тонкая структура вызвана интерференцией света в тонком слое желатины, авторы [15, 16], изучающие эту структуру, доказывают, что она определяется мельчайшими частицами фотолитического серебра, состоящими из нескольких атомов, находящихся главным образом на поверхности, слабо связанных с решеткой. Это подтверждается, во-первых, тем, что аналогичная тонкая структура наблюдается для напыленных слоев металла [17—19]; во-вторых, квантово-механическими расчетами и, в-третьих, электронографическими опытами [20].

Для успешного наблюдения тонкой структуры должны быть соблюдены некоторые условия, в частности оптическая плотность объекта должна быть мала — не более 0.045. При действии света тонкая структура ослабляется [21, 22]; это явление аналогично эффекту Гершеля. Кроме того, были отмечены три группы пиков, имеющих разную устойчивость.

Согласно работе [20], образующиеся при слабой засветке частицы серебра имеют вначале аморфную структуру и только затем образуется металлическая решетка, как это наблюдается при росте частиц золь серебра или золота [23].

Соответственно по мере засветки спектр поглощения меняется — от тонкой структуры через полосу поглощения с максимумом у 430 мкм [24—26] к размытым полосам поглощения коллоидных частиц серебра.

Были предприняты попытки зафиксировать промежуточные продукты фотолиза, в частности атомы серебра, с помощью электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Р. А. Житникову [27] удалось получить спектр ЭПР, характерный для атомов серебра, но не в галогенидах серебра. Этот спектр не соответствует данным Вайделиха [28], полученным для засвеченных кристаллов AgCl и AgBr. Как показано в работах [29, 30], ЭПР на засвеченных галогенидах серебра определяется свободными электронами предколлоидных частиц фотолитического серебра, т. е. метод ЭПР пока не дал возможности зарегистрировать промежуточные продукты фотолиза.

Механизму фотолиза было посвящено значительное число работ. В работах [31, 32] изучали спектр собственного поглощения галогенидов серебра, а в работе [48] — фотографических слоев, в особенности длинноволновый край собственного поглощения, расположенный в синеволновой области спектра, так как обычно в несенсibilизированном слое скрытое изображение возникает под влиянием света этой спектральной области.

Значения показателя поглощения K для крупных кристаллов, получаемые отдельными авторами, в общем мало различаются, т. е. показатель

поглощения мало зависит от условий изготовления кристаллов, причем здесь выполняется известное соотношение Урбаха:

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{h\nu - h\nu_0}{kT}\right),$$

где $\sigma \sim 1$.

Смысл этого выражения пока еще недостаточно выяснен, причем были попытки объяснить его поглощением света собственными дефектами решетки [33].

Поглощение света на длинноволновом крае некоторые авторы [34] относят за счет так называемых непрямых переходов, т. е. таких межзонных переходов, в которых участвуют кроме фотонов также и фононы — кванты колебательной энергии решетки. В этой связи существенно то, что в ультрафиолетовой области спектра, например при 290 мкм, для AgBr наблюдали [35, 36] характерные пики поглощения, интенсивность которых росла с понижением температуры; эти пики были отнесены за счет экситонного поглощения. Вместе с тем в синеволновой и близкой ультрафиолетовой области спектра, т. е. при меньшей энергии фотонов, наблюдается интенсивный фотоэффект, ранее подробно изученный советскими авторами [7, 8, 25, 37—41].

К. Н. Лоскутов и П. В. Мейкляр [42, 43] показали, что в области 300—400 мкм квантовый выход близок к единице, т. е. происходит межзонный переход, причем энергия поглощаемого фотона меньше энергии образования экситона с $\lambda = 290$ мкм. Причина этого кажущегося несоответствия была выяснена. Показано [44], что валентная зона в галогенидах серебра имеет сложную структуру с несколькими максимумами в различных кристаллографических направлениях. Образование экситонов для одного направления может поэтому стимулироваться фотонами большей энергии, чем межзонные переходы для другого кристаллографического направления. Далее, установлено [43], что при $\lambda > 400$ мкм квантовый выход фотоэффекта с увеличением длины волны падает, что, по видимому, объясняется образованием экситонов также и в этой области спектра. Наконец, изучение люминесценции галогенидов серебра при температуре жидкого гелия [45] также показало наличие экситонной люминесценции. Надо отметить, что на возможность образования экситонов в галогенидах серебра указывал еще С. Г. Рыжанов [46] из общих соображений. Вообще же, как показывают результаты обширных исследований Е. Ф. Гросса с сотр. [47], существует непосредственная связь между спектром экситонного поглощения и спектром фотопроводимости твердых тел.

Как известно, в фотографической практике применяют смешанные кристаллы галогенидов серебра, в особенности бромидосеребряные. Спектр поглощения таких эмульсионных слоев и порошков изучен [48]. Получены также и кривые фотопроводимости смешанных кристаллов [49] и эмульсионных слоев [50], которые показали, что спектральная чувствительность фотографических слоев в синеволновой области определяется в конечном счете не спектром поглощения кристаллов, а спектром их фотопроводимости. Падение чувствительности в ультрафиолетовой области спектра объясняется сильным поглощением света кристаллами, что вызывает уменьшение эффективной толщины эмульсионного слоя [51]. Поглощение фотона вызывает образование пары электрон—положительная дырка (атом брома в узле решетки).

Изучение фотоэлектродвижущей силы (ф. э. д. с.), возникающей на обкладках конденсатора, содержащего кристалл или эмульсионный слой с изолирующими прокладками, дает возможность определить движение какого носителя заряда является преимущественным [25, 52, 53].

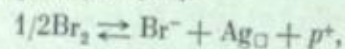
У незасвеченных кристаллов [54] и фотографических слоев [53] носителями являются электроны, что соответствует данным работы [55], согласно которой подвижность электронов приблизительно на два порядка больше подвижности дырок. Засветка вызывает падение ф. э. д. с. с переходом ее знака на дырочный.

Для эмульсионных слоев эта «переполнюсовка» происходит очень быстро даже под влиянием слабого света монохроматора. Частицы фотолитического серебра являются эффективными акцепторами электронов и сильно уменьшают время их жизни, по-видимому не влияя на время жизни дырок.

Таким образом, частицы фотолитического серебра могут при поглощении ими света выделять электроны и одновременно быть центрами захвата их.

Как показали И. А. Акимов и А. М. Мешков [56], изменение знака ф. э. д. с. может быть вызвано также поверхностными зарядами, образующимися при засветке. Выделяющиеся при засветке положительные дырки несколько меняют спектральное распределение фотопроводимости [39].

Дырочная проводимость наблюдается также у кристаллов AgBr, находящихся при повышенной температуре в атмосфере брома [57], причем дополнительная проводимость, вызванная диффузией атомов брома — положительных дырок вглубь кристалла, оказалась пропорциональной корню квадратному из давления брома. Диффузия дырок идет, по-видимому, по реакции [58]:



где Ag_{\square} — вакансия иона серебра, p^+ — дырка.

На галогенидах серебра при пониженной температуре наблюдается интенсивная люминесценция [59—61]. Было доказано, что люминесценция носит рекомбинационный характер, т. е. при возбуждении происходит разделение электрона и дырки, а их рекомбинация с излучением происходит на центрах рекомбинации. По-видимому, свечение осуществляется по одному из двух механизмов путем рекомбинации локализованных дырок со свободными электронами или локализованных электронов со свободными дырками.

Пока ни у нас, ни у иностранных исследователей нет единого мнения о том, какой из этих механизмов осуществляется в каждом конкретном случае. Однако параллельное исследование температурной зависимости фотопроводимости и люминесценции [62], влияние иодида [63] на ф. э. д. с. и ряд других данных показывают, по нашему мнению, что бромо- и хлоросеребряные кристаллы люминесцируют в результате рекомбинации захваченных электронов со свободными дырками, а бромоиодосеребряные кристаллы — по первому из указанных механизмов, что в общем соответствует выводам иностранных исследователей [64, 65].

Нет единого мнения также и о природе центров рекомбинации. Только для бромоиодосеребряных кристаллов и фотографических слоев большинство исследователей склоняется к тому, что здесь центрами свечения являются ионы иода, которые после захвата положительных дырок превращаются в атомы иода, и свечение осуществляется в результате рекомбинации этих атомов свободными электронами.

Для других кристаллов предполагается, что центрами свечения являются частицы серебра [59], хотя не понятно, почему при этом спектр свечения вполне определенный.

Производили изучение уровней захвата электронов и дырок путем наблюдения вспышки люминесценции под действием инфракрасного света [66, 67]. Удалось выяснить влияние различных факторов на интенсивность этой вспышки. В частности, было показано [69], что после

локализации носителей идет процесс их перераспределения за счет опустошения «мелких» и заполнения «глубоких» уровней. У закаленных кристаллов этот процесс идет сильнее [68, 69].

Кроме основной полосы люминесценции у кристаллов с избытком серебра наблюдается более длинноволновая полоса с максимумом при 600—635 мкм для AgBr [59]. В последнее время условия образования этой полосы внимательно изучаются (В. М. Белоус и К. В. Чибисов [70, 71], А. А. Садыкова [72]), в связи с тем, что делаются попытки сопоставить свечение эмульсионных слоев в этой области спектра, которое не всегда выявляется в виде отдельной полосы, с образованием центров чувствительности.

Специальный интерес представляет интерпретация полосатого спектра люминесценции кристаллов галогенидов серебра и фотографических слоев при температуре жидкого гелия [45]. Из этих спектров получены сведения о фононном спектре, электронно-фононном взаимодействии и т. д.

Работами советских авторов выяснялся вопрос о природе дефектов в галогенидах серебра. Теперь широко известно, что галогениды серебра являются классическим примером ионных кристаллов, в которых образуются так называемые дефекты по Френкелю — междоузельные ионы серебра и их вакантные узлы. Однако не всем известно, что Я. И. Френкель еще до войны живо интересовался теорией фотолиза в галогенидах серебра, устраивал в Политехническом институте при участии Т. П. Кравца и его сотрудников семинары с обсуждением возможных теорий. Аспирант Я. И. Френкеля В. С. Анастасевич [73] защитил диссертацию по теории образования скрытого изображения.

Я. И. Френкель, в частности, указывал, что в начальной стадии фотолиза наиболее вероятно образование одномерных частиц («сосисок»).

Большой вклад в выяснение природы дефектов, механизма их образования и диффузии внесли работы А. Н. Мурина и его сотрудников [74—76]. Эти работы, выполненные методом диффузии радиоактивных изотопов Ag^{110} , Br^{82} , показали, что коэффициент диффузии ионов серебра почти на четыре порядка больше, чем ионов галогена, и подтвердили катионный характер электропроводности. Сопоставление значений коэффициента диффузии, найденных из опыта, с их значениями, вычисленными из данных по электропроводности, с учетом соотношения Эйнштейна, привело в согласии с заключением иностранных исследователей, к выводу о перемещении междоузельного иона серебра не путем перехода из одного междоузлия в соседнее, а путем выталкивания соседнего иона из узла с переходом междоузельного иона в освободившийся узел.

По-видимому, в настоящее время нет оснований сомневаться в наличии такого механизма движения подвижных ионов серебра. Эти подвижные ионы, и особенно ионы на поверхности и по линиям дислокаций, играют большую роль при образовании частиц серебра.

Было обнаружено, что после засветки ионная проводимость падает, что определяется связыванием подвижных ионов [77]. Этот же процесс определяет так называемую отрицательную фотопроводимость, т. е. уменьшение проводимости во время засветки [78, 79].

В настоящее время широко известно, что в крупных кристаллах частицы фотолитического серебра выделяются преимущественно вдоль дислокаций. Это является также методом детектирования дислокаций. Однако впервые такая локализация фотолитического серебра наблюдалась А. С. Топорцом и М. В. Савостьяновой еще в 1934 г. с помощью ультрамикроскопа [2]. При засветке возникали частицы фотолитического серебра в виде светлых точек, рассеивающих свет. В настоящее время получены хорошие электронномикроскопические снимки таких частиц серебра в проходящем пучке электронов [80].

Выше указывалось, что частица фотолитического серебра проходит несколько стадий роста. Вначале образуется частица, состоящая из нескольких атомов и имеющая аморфную структуру. Для ее образования и дальнейшего роста нужно, по-видимому, чтобы было выполнено несколько условий.

Во-первых, необходимо, чтобы выделяющийся фотобром не окислял образующиеся частицы серебра. Непосредственная рекомбинация фотоэлектронов с фотодырками, по-видимому, маловероятна. Скорее частицы серебра вырастают, прежде чем к ним подойдет фотобром. Поэтому для предохранения этих частиц от окисления бромом необходимо присутствие эффективных акцепторов брома [77]. Было обнаружено, что засветка в вакууме, сероводороде, а также в щелочной среде благоприятствует фотолиту. Опыты П. В. Мейклира и В. В. Гладковского были выполнены одновременно с аналогичными опытами Митчелла [81].

Во-вторых, необходимо, чтобы образующаяся частица серебра была термически устойчива. Расчет В. М. Бурмистрова [82] показал, что в результате действия силового поля решетки энергия активации термического распада атома серебра или F-центра внутри кристаллической решетки бромида серебра невелика — всего 0,02 эв, т. е. при комнатной температуре атом серебра в решетке AgBr совершенно неустойчив. На поверхности и по линиям дислокаций атомные решетки меньше и устойчивость атомов серебра больше. По-видимому, вблизи примесных центров поляризующие линии решетки еще больше ослабляются, а устойчивость атомов серебра увеличивается.

В-третьих, необходимо, чтобы было достаточное количество подвижных ионов серебра, из которых формируется частица фотолитического серебра. При комнатной, а тем более при повышенной температуре образование новых подвижных ионов серебра затруднено из-за высокой энергии активации этого процесса; электропроводимость определяется ионами на поверхности и вдоль дислокаций.

Можно представить себе два процесса образования частиц серебра, учитывающие указанные условия:

1. Центры ионы закрепляются на атомных решетках — термических, обусловленных деформацией и дислокациях [83] или у примесных центров [84]. Затем соли протрагиваются вод серебром; это повторяется многократно.

2. Электроны могут закрепляться на самих ионах серебра, образуя увеличивающиеся вместе с образованием атомов серебра. Последующее укрупнение происходит либо путем последовательного присоединения ионов серебра, либо путем диффузии атомов и более крупных частиц.

Второй процесс не противоречит данным В. В. Гладковского, а также, по-видимому, другим данным, приведенным в [85].

П. В. Мейклир и Н. М. Чибисова [86] указали, что для образования частиц фотолита необходимо выполнение ориентационного условия. Дифракционным методом внутри бромида серебра можно обнаружить наличие ориентации частиц фотолита. В. В. Гладковский и В. В. Мейклир [87] обнаружили, что при засветке в вакууме в кристаллической решетке бромида серебра образуются центры, имеющие ориентацию. В. В. Мейклир и В. В. Гладковский [88] обнаружили, что при засветке в вакууме в кристаллической решетке бромида серебра образуются центры, имеющие ориентацию. В. В. Мейклир и В. В. Гладковский [89] обнаружили, что при засветке в вакууме в кристаллической решетке бромида серебра образуются центры, имеющие ориентацию.

В. В. Мейклир и В. В. Гладковский [90] обнаружили, что при засветке в вакууме в кристаллической решетке бромида серебра образуются центры, имеющие ориентацию. В. В. Мейклир и В. В. Гладковский [91] обнаружили, что при засветке в вакууме в кристаллической решетке бромида серебра образуются центры, имеющие ориентацию.

фотолитического серебра совпадает с плоскостью (010) кристалла бромида серебра.

Впоследствии ориентационное соответствие между фотолитическим и бромистым серебром было обнаружено методом дифракции электронов [88, 89]. Однако это было доказано только для глубокого фотолита и вряд ли может быть принято для центров скрытого изображения.

Природа фотографической чувствительности

При изготовлении фотографической эмульсии рост чувствительности, вуали и контрастности происходит главным образом на стадии химического созревания. По этой причине основные исследования в области теории фотографической чувствительности относятся к изучению химического созревания, причем здесь выдающуюся роль сыграли исследования К. В. Чибисова, Е. А. Кириллова и их сотрудников. Работы проводились по трем направлениям: изучали, во-первых, кинетику изменения фотографических свойств — чувствительности и вуали [90]; во-вторых, изменение спектра поглощения и спектральной чувствительности [91, 92] и, в-третьих, кинетику накопления негалоидного серебра (с помощью микрохимического анализа) [93].

Было установлено, что между изменением чувствительности, ростом вуали и накоплением негалоидного серебра имеется строгое соответствие. В максимуме кинетической кривой чувствительности начинается быстрый рост вуали и одновременно рост количества металлического серебра.

Вместе с тем между кинетикой химического созревания и накоплением сернистого серебра не было найдено соответствия. Это уже тогда дало основание К. В. Чибисову утверждать, что примесные центры чувствительности, образующиеся при химическом созревании, имеют серебряную природу. Это подтверждалось также одинаковой энергией активации роста чувствительности, вуали и накопления серебра. Было принято, что роль сернистых соединений, и в частности тиосульфата, состоит в ускорении процесса восстановления подвижных ионов серебра по реакции



Образующиеся при химическом созревании примесные центры были зарегистрированы спектрофотометрически, причем оказалось, что вызываемые ими пики тонкой структуры в спектре поглощения расположены при тех же длинах волн, что и для мельчайших частиц фотолитического серебра. Это является дополнительным доказательством серебряной природы примесных центров.

При химическом созревании меняется и форма кривой спектральной чувствительности, причем кроме значительного подъема этой кривой в области $\lambda > 500$ мкм [94], отмечаемого многими советскими [95] и зарубежными [96] авторами, наблюдается изменение спектральной чувствительности в пределах собственного поглощения кристаллов, особенно в области 430—460 мкм [97, 98], что находится в соответствии с отмеченным выше ростом поглощения при засветке.

Наконец, было обнаружено возникновение нескольких мелких пиков на кривой приращения спектральной чувствительности, соответствующее пикам тонкой структуры, что также является доказательством серебряной природы примесных центров.

При химическом созревании высота пиков тонкой структуры меняется немонокотно [91, 92]. Поглощение сперва растет, затем падает, после чего снова увеличивается, что объясняется изменением дисперсности

первичных центров во время созревания. Сначала идет накопление первичных центров атомно-молекулярной дисперсности, затем они коагулируют в более крупные предколлоидные частицы серебра, кроющая способность которых меньше.

Таким образом, К. В. Чибисов и его сотрудники считают, что при образовании первичных примесных центров происходит такое же их изменение — эволюция, как и для мельчайших частиц фотолитического серебра.

Несомненно, что образование примесных центров должно идти через адсорбцию химических сенсibilизаторов, которая может быть как обратимой, так и необратимой. В последнем случае происходит хемисорбция с образованием нового вещества. Опыты К. В. Чибисова, А. А. Титова и А. А. Михайловой [99] по десорбции продуктов взаимодействия лабильной серы с эмульсионных кристаллов путем промывки (купанием) эмульсионных слоев в растворе бромиды калия показали наличие значительной десорбции этих веществ. Такая же десорбция наблюдалась и при восстановительной сенсibilизации гидразином.

Существенно, что при таком промывании эмульсионных слоев в растворе КВг падения чувствительности не наблюдается, т. е. слабо связанные с кристаллами вещества не определяют их чувствительности.

Процесс адсорбции тиосульфата на поверхности эмульсионных кристаллов изучали с применением тиосульфата с радиоактивным внешним (двухвалентным) ионом серы S^{2-} [100]. Было показано, что адсорбция тиосульфата ускоряется при увеличении pVg и что промывка в растворе бромиды калия вызывает значительную десорбцию сернистых соединений с поверхности кристаллов.

К сожалению, работы по изучению адсорбции сернистых соединений методом радиоактивных изотопов у нас не были продолжены. Работа А. В. Борина с сотр. была опубликована в 1960 г., а в 1964 г. появилась статья Фризера и Ранца [101] и в 1966 г. — статьи Спреклина [102, 103] и других авторов [104, 105], в которых излагались результаты работ по адсорбции тиосульфата, также выполненные с применением радиоактивного изотопа серы S^{2-} , занимающей место внешнего двухвалентного иона и место внутреннего шестивалентного. Было показано, что адсорбция идет очень быстро, получаются типичные изотермы адсорбции Лэнгмюра, а количество адсорбированного вещества резко растет с увеличением pVg . При созревании необратимо связывается двухвалентная сера, по-видимому с образованием Ag_2S .

Впрочем, образование Ag_2S нельзя считать доказанным, так как возможно образование и комплексов типа $[Ag_2S^{2-}]$ или $[S^{2-}Br_2^+]$, $[S-Ag_2]$, как это принимал Стасив [106] в случае добавления сульфида серебра в кристаллы хлорида или бромиды серебра или Ото и Совенье [107] для эмульсионных слоев.

Адсорбция внутреннего шестивалентного иона серы происходит обратимо. По-видимому, образуется ион SO_4^{2-} , который легко удаляется при промывке.

Было показано также, что при засветке Ag_2S разрушается с образованием SO_4^{2-} , причем в присутствии акцепторов галоида этот процесс идет медленнее. Вместе с тем в работах [99, 101] для химического созревания не было установлено прямой связи между накоплением сульфида серебра и кинетикой изменения фотографических свойств, так как на стадии падения чувствительности и резкого роста вуали количество сульфида продолжало возрастать с той же скоростью, что и ранее на стадии резкого роста чувствительности. Для эмульсий с кубическими кристаллами чувствительность, наоборот, монотонно росла даже после окончания накопления сульфида серебра.

Вместе с тем, по данным Фризера и Ранца, энергия активации для образования сульфида серебра (20—25 ккал./моль) соответствует этой же величине, найденной К. В. Чибисовым для роста чувствительности.

Таким образом, хотя образование примесных центров сульфида серебра или сульфидных комплексов при сернистой сенсibilизации, по-видимому, не подлежит сомнению, но, какова их роль, остается неясным. Безусловно, и те и другие центры являются акцепторами брома.

Действительно, при фотолитизе они разрушаются, а введение в эмульсию иных акцепторов галоида предотвращает этот процесс [101, 108]. Многочисленные опыты Митчелла [109, 110] показывают, что сульфид серебра акцептирует галоид. Опыты других зарубежных исследователей [111, 112] свидетельствуют о том, что и другие сульфиды акцептируют галоид.

Наконец, с увеличением времени созревания растет электронная составляющая ф. э. д. с. эмульсионных слоев, что также эквивалентно образованию при созревании акцепторов галоида.

Однако не в этом состоит главная роль сернистых соединений. Действительно, созревание в присутствии сернистых соединений нельзя заменить введением других акцепторов галоида — нитрита натрия или семикварбазида, хотя эти вещества сильнее акцептируют бром, так как в их присутствии сульфид серебра при засветке не разрушается. С этой точки зрения весьма вероятной представляется гипотеза К. В. Чибисова о неспецифичности сернистой сенсibilизации по сравнению с восстановительной.

Сторонники усматривать различие сернистой и восстановительной сенсibilизаций обычно указывают на различное влияние окислителей на чувствительность эмульсионных слоев, полученных после сернистой и восстановительной сенсibilизаций, что сопоставляется со значительно более быстрой окисляемостью центров скрытого изображения по сравнению с центрами чувствительности [113]. На этом основании делается вывод, что примесные центры чувствительности не представляют собой частиц серебра.

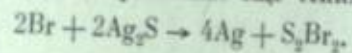
Но, во-первых, как справедливо указывает К. В. Чибисов, реакционная способность серебра при разной его дисперсности может быть различна. Это подтверждается, в частности, тем, что скорость окисления центров скрытого изображения, образованных при высокой освещенности, больше [114, 115], чем при низкой, так как в первом случае образуются более мелкие частицы серебра. Кроме того, центры скрытого изображения, образующиеся в эмульсионных слоях, подвергнутых сенсibilизации солями золота, оказываются более устойчивыми к окислению [116, 117], хотя можно предполагать [118], что в этом случае образуются частицы с примесью золота.

Во-вторых, центры скрытого изображения могут быть слабее связаны с решеткой бромиды серебра, чем примесные центры чувствительности, образующиеся в результате химического взаимодействия галогенидов серебра с химическими сенсibilизаторами.

Вместе с тем у нас нет и прямых доказательств серебряной природы примесных центров чувствительности в случае сернистой сенсibilизации. В частности, совпадение положений пиков тонкой структуры для примесных центров и частиц фотолитического серебра не может служить доказательством одинаковой природы обоих типов центров, так как было показано, что для тонких слоев различных металлов (серебра, ртути и таллия) наблюдаются [119] одни и те же пики. Возникновение длинноволновой полосы люминесценции с максимумом у 600 мкм при сернистой сенсibilизации [72, 120], которая обязана частицам серебра, также оказывается нерегулярной, и не удается найти строгой корреляции

между интенсивностью этой полосы и чувствительностью эмульсионного слоя. Наконец, различное влияние солей золота на вуаль, возникающую при восстановительной и сернистой сенсбилизации [121], и на центры скрытого изображения также остается пока непонятным.

Выше указывалось, что бромакцепторная функция примесных центров, по-видимому, не является определяющей. Действительно, введение более сильных акцепторов галоида не вызывает роста чувствительности и не может заменить химическое созревание, хотя накопление акцепторов галоида при созревании можно считать доказанным. Впрочем, возможно, что некоторую роль здесь играет образование серебра при действии брома на сернистое серебро, на что указывал еще Хикман [122]:



В этой связи следует заметить, что бромакцепторные свойства желатинны, по-видимому, преувеличены [123].

Таким образом, предположение Митчелла, что фотоэлектроны закрепляются на уступах поверхности дислокаций, а роль примесных центров сводится только к связыванию фотоброма вряд ли можно считать правильной. Это подтверждается также результатами исследования Уиллета [124], который на большом статистическом материале показал, что нет корреляции между наличием у эмульсионных кристаллов субструктуры и их чувствительностью.

По-видимому, при малой засветке, соответствующей образованию скрытого изображения, вероятность окисления центров скрытого изображения фотолитическим бромом не так уж велика. Кроме того, не исключена возможность образования в эмульсионных кристаллах локальных электрических полей, разделяющих электроны и дырки.

Зарубежные авторы [125, 126] указывали, что на примесной частице серебра или его сульфида адсорбируются ионы серебра, что и «привлекает» сюда электроны и отталкивает положительные дырки. Кроме того, возвращение [127] и электронный механизм возникновения положительного заряда на примесном центре. Наконец, как отмечалось выше, примесный центр чувствительности может ослаблять силовое поле решетки, что приводит к стабилизации атомов фотолитического серебра. Так или иначе у примесных центров создаются благоприятные условия для образования центров скрытого изображения.

Впрочем, недавно Е. А. Галашина и К. В. Чибисов [128] предложили иной подход к проблеме химической сенсбилизации. Согласно этим авторам, во время химического созревания происходит образование не примесных центров в общепринятом смысле, а большого количества атомов серебра, составляющих пересыщенный раствор в кристалле его бромида. При действии света из этого пересыщенного раствора выделяется новая фаза — частицы серебра — центры скрытого изображения. Однако непонятно, как атомы серебра могут существовать в эмульсионных кристаллах длительное время.

Значительное повышение чувствительности достигается также путем введения в эмульсию перед химическим созреванием солей золота — хлорида или роданида. Механизм этого явления также еще недостаточно выяснен [121, 129, 130].

По-видимому, при сенсбилизации солями золота ион золота в случае хлорида золота или комплексный ион золота в случае роданида восстанавливается до атома золота и при оптимальных условиях сенсбилизации образуются смешанные серебряно-золотые центры. Присоединение золота к центрам вуали при сернистой сенсбилизации может превратить их в непроявляемые центры. Вместе с тем соли золота не снижают проявляемости центров скрытого изображения.

Роль центров чувствительности и механизм образования центра скрытого изображения выясняются также из изучения зависимости фотографических свойств от температуры, освещенности, предварительной или последующей засветки, времени хранения в различных условиях, электрического поля и т. д. Особенно подробно изучали влияние освещенности на чувствительность фотографического слоя, т. е. отклонения от закона взаимозаместимости как при длительных, так и коротких выдержках [129, 130]. Существенно, что при химическом созревании отклонения от закона взаимозаместимости при длительных выдержках уменьшаются [131, 132], а при коротких возрастают [118, 135]. Первая из этих закономерностей [136] была объяснена термическим распадом центров скрытого изображения на ранней стадии их образования. Было показано [137], что по предельному наклону изопаки можно определить, из скольких атомов состоит устойчивый центр скрытого изображения. Оказалось, что, согласно данным работы [138], в большинстве случаев частица, состоящая из двух атомов, уже стабильна, т. е. энергия активации для ее термического распада гораздо больше, чем для одного атома. А. Л. Картужанский и Л. И. Шур [139, 140] нашли зависимость энергии активации от числа атомов серебра в центре.

Термическая теория была распространена [141, 142] и на процесс регрессии центров скрытого изображения при хранении слоев. Надо сказать, что хотя термическая теория не противоречит экспериментальным фактам, некоторые авторы, и в частности Митчелл [143], считают, что колебания решетки с частотой порядка 10^{12} сек.⁻¹ могут стимулировать выделение из центра серебра не электронов, а ионов. И хотя прямо не высказывается недоверие к термической теории, но она за рубежом и не поддерживается.

Вместе с тем термическая теория отклонений от закона взаимозаместимости при длительных выдержках основывается на том, что центр скрытого изображения образуется независимо от центра чувствительности, т. е. фотоэлектроны захватываются не самим центром чувствительности, а находящимися вблизи них ионами серебра или другими дефектами либо до его локализации, либо после нее.

В последнее время [144] вновь были сделаны попытки объяснить отклонения при больших выдержках гипотезой реброминерации центров скрытого изображения. Однако эта гипотеза соответствует опыту только для слоев без химического созревания, а введение акцепторов галоида в обычный фотографический слой не влияет на величину отклонений, хотя, как указывалось выше, вводимые вещества сильнее акцентируют галоид, чем центры чувствительности, а более глубокое созревание приводит к дальнейшему уменьшению отклонений.

На величину отклонений при коротких выдержках созревание оказывает обратное действие — отклонения увеличиваются. По-видимому, создаются условия для распыления фотоэлектронов и образования многочисленных более мелких центров. Это подтверждает гипотезу об электронно-акцепторной в широком смысле слова, т. е. с включением стабилизации атомов серебра, роли центров чувствительности.

Существенно, что в присутствии соли золота химическое созревание не оказывает такого влияния. Возможно, что золочение мелких центров чувствительности, согласно гипотезе И. А. Новикова и Н. С. Гафуровой [121], выводит мелкие центры чувствительности из игры.

Влияние электрического поля на чувствительность некоторых эмульсионных слоев было обнаружено Ротштейном [145]. Исследования этого эффекта [146, 147] показали, что под влиянием электрического поля для разных слоев наблюдается как рост, так и падение чувствительности. Было показано также [148], что эффект поля наблюдается для эмуль-

слоев, в которые во время синтеза был введен хлорид родия, и значительно усиливается при введении возрастающего количества солей золота. Наиболее вероятной представляется гипотеза о разделении электрическим полем фотоэлектронов и фотодырок, так как увеличение чувствительности полем наблюдается в низкочувствительных, высококонтрастных слоях, где внутри кристаллов созданы дополнительные центры рекомбинации.

Механизм спектральной сенсibilизации

Рассмотрим только некоторые вопросы спектральной сенсibilизации, так как этой проблеме посвящена специальная статья в настоящем сборнике (стр. 78). Среди различных методов исследования механизма спектральной сенсibilизации важное место занимает сенсibilизированный фотоэффект. Это явление изучено на кристаллах в лаборатории А. Н. Теренина, Е. К. Пущейко и И. А. Акимовым [149] и на фотографических слоях Л. Г. Гроссом [150] и В. Г. Власовым [53]. Во всех случаях было найдено полное соответствие между спектральными кривыми фотоэффекта и фотографической чувствительности в области сенсibilизации. Активаторы, вызывающие увеличение фотографической чувствительности в области сенсibilизации, увеличивают и фотоэффект, хотя десенсibilизаторы обратного действия и не вызывают [151].

Все эти данные показывают, что в области сенсibilизации, как и в области собственной чувствительности, образование скрытого изображения начинается с освобождения электронов, причем более эффективные сенсibilизаторы, как правило, при прочих равных условиях вызывают больший фотоэффект [152].

Вместе с тем оказывается, что давление дырок сильно ослабляется красителями в результате акцентирования ими брома. По этой же причине происходит и падение интенсивности собственной люминесценции фотографических слоев в результате адсорбции красителей [61]. Захват положительных дырок адсорбированным красителем был зарегистрирован также с помощью ЭИР [153].

Кроме того С. В. Натансон и И. И. Левкошкин [154] была изучена непосредственная реакция красителей с бромом, причем было обнаружено, что на первой стадии реакции обратима. Это позволяет предполагать, что и в адсорбированном состоянии краситель может только временно захватывать бром [155].

Освобождение электронов в эмульсионных кристаллах при поглощении фотонами молекулами адсорбированного красителя может происходить как путем непосредственного перехода электронов на эти молекулы в кристалле, так и путем передачи энергии возбуждения молекулы кристаллу — с освобождением электронов и дырок в самом кристалле. В первом случае уровень энергии возбужденного состояния молекулы красителя должен быть не выше нижней границы зоны проводимости кристалла, во втором случае это условие может не выполняться.

При изучении [156] известного фотоэффекта ZnO , $AgBr$ и $TiCl_3$ на поверхности которых были адсорбированы красители, показано, что уровень возбужденного состояния адсорбированного красителя должен быть выше зоны проводимости. Это значит, что при сенсibilизированном фотоэффекте скорее передается энергия возбуждения молекулы красителя, чем от этой молекулы отделяется электрон. Так как линия возбуждения молекулы красителя шире, чем энергия, необходимая для освобождения электрона с иона галоида, то было выдвинуто предположение [157], что передача энергии возбуждения кристаллу происходит освобождением электронов не с иона галоида, а с донорных уровней, расположен-

женных в запрещенной зоне и соответствующих различным состояниям электронов на поверхности.

Однако изучение влияния химического созревания, при котором образуются примесные центры, на степень сенсibilизации показали [158, 159], что последняя величина при созревании практически не изменяется, т. е., если энергия молекулы и передается электронам, расположенным на локальных уровнях, то эти уровни не имеют никакого отношения к примесным центрам чувствительности, образующимся при химическом созревании.

Гипотеза, что различные энергии возбуждения молекулы красителя и освобождения электронов в кристалле покрывается за счет тепловой энергии этих молекул [160], также не подтвердилась опытом. Оказалось, что для красителей, сенсibilизирующих в разных областях спектра, т. е. при разном дефиците энергии, температурная зависимость чувствительности может быть одинаковой [161].

Новый подход к проблеме спектральной сенсibilизации был сделан В. В. Овсянниковым и П. П. Феофиловым [162], обнаружившими явление сенсibilизированной люминесценции, т. е. собственную люминесценцию эмульсионных кристаллов при возбуждении в области сенсibilизации. Авторы [162] рассматривают сенсibilизированную люминесценцию фотографических слоев как частный случай кооперативной люминесценции, когда энергии возбуждения двух молекул или ионов, поглотивших фотон, складываются и происходит возбуждение связанного с ними иона, энергия возбужденного состояния которого равна сумме энергий поглощенных фотонов. При таком механизме сенсibilизации отсутствует дефицит энергии. Правда, для сенсibilизации в области 1,2—1,3 мк, т. е. ~ 1 эв, требуется суммирование энергий не двух, а трех фотонов.

Кроме того, при таком механизме сенсibilизации можно было бы ожидать различия в величине отклонений от закона взаимозаместимости в области собственной чувствительности и в области сенсibilизации, что пока обнаружено не было. Само по себе явление сенсibilизированной люминесценции представляет значительный интерес, и уже первые исследования В. В. Овсянникова и П. П. Феофилова показали, что ее интенсивность увеличивается при понижении температуры от жидкого азота до жидкого гелия. Кроме того, по данным работы [163], интенсивность сенсibilизированной люминесценции увеличивается при введении в эмульсию активаторов, уменьшении pBr , а также со временем химического созревания. Уже из этих зависимостей видно, что между сенсibilизированной люминесценцией, с одной стороны, и сенсibilизированным фотоэффектом и степенью сенсibilизации, с другой, нет строгой корреляции.

Как известно, многие красители вызывают падение собственной чувствительности эмульсионных слоев. Это десенсibilизирующее действие красителей, которое проявляется как сразу после их введения, так и при хранении слоев, особенно в кислороде и во влажной среде, также изучено подробно. Было показано [152, 164, 165], что оно увеличивается с ростом электронно-акценторной способности красителей. Однако не было обнаружено падения фотопроводимости или ф. э. д. с. эмульсионных слоев после введения красителей. Наоборот, как выше указывалось, адсорбированные красители захватывают не фотоэлектроны, а положительные дырки, и электронная составляющая ф. э. д. с. при этом растет. Можно думать [127], что электронно-акценторная способность красителей проявляется при их адсорбции, когда красители связывают отрицательные заряды на поверхности, например ионы брома. Связывание отрицательных зарядов при адсорбции красителей наблюдалось в работе Ракитянской [166], где было показано, что при адсорбции красителей на окрашен-

ных щелочно-галогидных кристаллах концентрация F -центров уменьшается.

В заключение хочется указать, что, хотя с первого взгляда кажется трудным сделать непосредственные практические выводы из вышеназванных теорий, развитие научной фотографии в нашей стране оказало значительное влияние на прогресс фотохимической промышленности. Можно было бы привести много примеров плодотворного сотрудничества науки и практики, уже не говоря о том, что каждый практический работник в своей деятельности исходит из определенных модельных схем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. В. Савостьянова, Изв. Физ.-мат. инст. им. В. А. Стеклова, 1930, 3, 169; Т. П. Кравец, Стенографический отчет торжественного заседания, посвящ. 10-летию ГОИ, 1928.
- [2] А. С. Топорев, М. В. Савостьянова, ДАН СССР, 1934, 2, 285.
- [3] П. В. Мейкляр, ДАН СССР, 1941, 31, 226.
- [4] М. В. Савостьянова, А. С. Топорев, ДАН СССР, 1934, 2, 225.
- [5] С. В. Чередынцев, ЖФХ, 1936, 7, 265; 1941, 15, 419, 431.
- [6] Ю. Н. Гороховский, С. А. Шестаков, ЖФХ, 1938, 11, 356.
- [7] Е. А. Кириллов, ЖФХ, 1925, 57, 259.
- [8] Е. А. Кириллов, Z. wiss. Phot., 1928, 25, 235; 1931, 28, 367.
- [9] O. Stasiw, J. Teltow, Gött. Nachr. Math.-Phys. Klasse, 1941, 93, 100.
- [10] E. Rohloff, Z. Phys., 1952, 132, 643.
- [11] F. C. Brown, N. Wainfan, Phys. Rev., 1957, 105, 93.
- [12] Е. А. Кириллов, Тонкая структура в спектре поглощения фотохимически окрашенного галогидного серебра. Изд. АН СССР, М., 1954.
- [13] F. Moser, J. Opt. Soc. Am., 1956, 46, 218.
- [14] P. V. Searle, J. Phot. Sci., 1964, 12, 168.
- [15] Е. А. Кириллов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 225.
- [16] Е. А. Кириллов, Е. А. Нестеровская, Ж. Л. Броун, А. Б. Гольденберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 148.
- [17] М. Е. Фоккич, Тр. Одесск. ун-в., 1951, 3, 33.
- [18] А. Г. Гуменюк, ДАН СССР, 1953, 21, 783.
- [19] А. Н. Латышев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 454; 1964, 9, 18, 81, 263.
- [20] И. М. Ратнер, К. В. Чибисов, В. А. Каргин, Тр. НИКФИ, 1957, 10 (20), 31.
- [21] Е. А. Нестеровская, ДАН СССР, 1950, 90, 57; 1951, 98, 997.
- [22] Е. А. Нестеровская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 81.
- [23] З. Я. Берестенева, Т. А. Корецкая, В. А. Каргин, Колл. ж., 1952, 14, 395.
- [24] С. И. Голуб, Е. А. Кириллов, Тр. Одесского ун-в., 1940, 2, 5.
- [25] Е. К. Пуцыйко, П. В. Мейкляр, ЖЭТФ, 1951, 21, 341.
- [26] Е. А. Нестеровская, Т. А. Нечаева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 252.
- [27] Р. А. Житников, А. П. Паугурт, ФТТ, 1966, 8, 1797.
- [28] W. Waidelich, Naturwiss., 1959, 46, 598; 1960, 47, 35.
- [29] M. J. A. Smith, D. J. E. Ingram, Proc. Roy. Soc., 1962, 80, 139.
- [30] D. J. Greenslade, Brit. J. Appl. Phys., 1965, 16, 1921.
- [31] П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 389.
- [32] С. Г. Гренишви, Л. С. Николаевский, А. А. Солодовников, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 327.
- [33] П. В. Мейкляр, ФТТ, 1962, 4, 178.
- [34] F. C. Brown, J. Phys. Chem., 1962, 66, 2368.
- [35] Y. Okamoto, Nachr. Gött. Wiss., 1959, 11a, № 14, 275.
- [36] S. Tutihasi, Phys. Rev., 1957, 105, 882.
- [37] В. У. Барщевский, ЖЭТФ, 1942, 12, 225; 1946, 16, 815.
- [38] В. У. Барщевский, Усп. научн. фотогр., 1951, 1, 191.
- [39] А. А. Садыкова, П. В. Мейкляр, ФТТ, 1962, 4, 170.
- [40] И. А. Акимов, ФТТ, 1962, 4, 1549.
- [41] И. А. Акимов, ДАН СССР, 1961, 137, 624.
- [42] К. Н. Лоскутов, Изв. вузов СССР, Физика, 1959, 1, 97.
- [43] К. Н. Лоскутов, П. В. Мейкляр, ФТТ, 1968, 10, 703.
- [44] F. Bassani, R. S. Knox, W. V. Fowler, Phys. Rev., 1965, 137, A-1217.
- [45] Е. В. Козырева, П. В. Мейкляр, Опт. и спектроскоп., 1967, 23, 421.
- [46] С. Г. Рыжанов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 382, 1967, 12, 61.
- [47] Е. Ф. Гросс, Усп. физ. наук., 1953, 42, 122.
- [48] И. И. Брейдо, Ю. Н. Гороховский, ДАН СССР, 1949, 65, 633.
- [49] П. В. Мейкляр, ДАН СССР, 1951, 77, 391.
- [50] Л. Г. Гросс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 219.
- [51] Ю. Н. Гороховский, Спектральные исследования фотографического процесса, Физматгиз, М., 1960, стр. 126.
- [52] И. А. Акимов, Опт.-мех. пром., 1966, 5, 4.
- [53] В. Г. Власов, П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 128.
- [54] И. А. Акимов, А. Н. Теренин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 108.
- [55] J. F. Hamilton, L. E. Brady, J. Appl. Phys., 1959, 30, 1902.
- [56] И. А. Акимов, А. М. Мешков, ДАН СССР, 1965, 162, 306; 1965, 165, 309.
- [57] Л. М. Шамовский, А. А. Душина, М. И. Гостева, ДАН СССР, 1956, 106, 830.
- [58] C. Wagner, Z. Phys. Chem., 1935, B21, 25.
- [59] С. И. Голуб, Автореф. докт. дисс. Одесса, 1965.
- [60] В. М. Белоус, Автореф. канд. дисс. Одесса, 1963.
- [61] А. А. Садыкова, М. З. Пескова, П. В. Мейкляр, Опт. и спектроскоп., 1967, 23, 250.
- [62] Е. В. Козырева, В. Г. Власов, П. В. Мейкляр, Опт. и спектроскоп., 1969, 26, 843.
- [63] А. А. Садыкова, В. Г. Власов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр. (в печати).
- [64] D. Wiegand, Phys. Rev., 1959, 113, 52.
- [65] F. Moser, F. Urbach, Phys. Rev., 1957, 106, 852.
- [66] В. М. Белоус, Н. Г. Дьяченко, Опт. и спектроскоп., 1961, 10, 649.
- [67] В. М. Белоус, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 17, 386.
- [68] В. М. Белоус, Опт. и спектроскоп., 1961, 11, 431.
- [69] В. М. Белоус, С. И. Голуб, Изв. вузов СССР, Физика, 1963, 1, 89.
- [70] В. М. Белоус, Л. П. Мельничук, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1967, 172, 1356.
- [71] В. М. Белоус, Л. П. Мельничук, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1967, 177, 1367.
- [72] А. А. Садыкова, П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 30.
- [73] В. С. Анастасевич, Я. И. Френкель, ЖЭТФ, 1941, 11, 127.
- [74] А. Н. Мури, Б. Г. Лурье, Диффузия меченых атомов и проводимость в ионных кристаллах. Изд. ЛГУ, 1967.
- [75] А. Н. Мури, Ю. Тауш, ДАН СССР, 1951, 80, 579.
- [76] А. Н. Мури, Б. Г. Лурье, ДАН СССР, 1954, 99, 53.
- [77] В. В. Гладковский, П. В. Мейкляр, ЖЭТФ, 1956, 30, 833.
- [78] В. У. Барщевский, ЖФХ, 1947, 21, 1007.
- [79] В. А. Горохов, П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1954, 1, 89.
- [80] J. F. Hamilton, Phot. Sci. Eng., 1967, 11, 57.
- [81] J. M. Hedges, J. W. Mitchell, Phil. Mag., 1953, 44, 357.
- [82] В. М. Буймистров, ФТТ, 1963, 5, 3.
- [83] J. W. Mitchell, J. Phot. Sci., 1958, 6, 57.
- [84] R. W. Gurney, N. F. Mott, Proc. Roy. Soc., 1938, A164, 151.
- [85] П. Д. Данков, ДАН СССР, 1939, 24, 773.
- [86] И. В. Крылова, Н. И. Кобозев, ЖФХ, 1956, 30, 2483.
- [87] П. Д. Данков, А. А. Кочетков, ДАН СССР, 1940, 26, 792.
- [88] C. R. Berry, R. L. Griffith, Acta Cryst., 1950, 3, 219.
- [89] D. W. Rashley, Phil. Mag., 1952, 43, 1028.
- [90] К. В. Чибисов, А. А. Титов, А. А. Михайлова, ЖФХ, 1947, 21, 643.
- [91] Б. Г. Варшавер, Ж. Л. Броун, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1959, 126, 1021.
- [92] А. Б. Пятницкая, Л. П. Мельничук, Ж. Л. Броун, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1964, 9, 321.
- [93] А. А. Михайлова, К. В. Чибисов, Тр. НИКФИ, 1948, 8, 75.
- [94] Б. Г. Варшавер, Л. Я. Крауш, К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 413.
- [95] П. В. Мейкляр, И. С. Ризаева, З. П. Игнатьева, Тр. НИКФИ, 1960, 37, 50.

- [96] J. Eggert, G. C. Kleinschrod, Z. wiss. Phot., 1940, 39, 165.
 [97] Ж. Л. Броун, Е. А. Кириллов, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1963, 149, 353.
 [98] П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 141.
 [99] К. В. Чибисов, А. А. Титов, А. А. Михайлова, ДАН СССР, 1951, 78, 319.
 [100] А. В. Борин, А. Ф. Богоявленский, И. А. Новиков, Н. В. Спецкая, Тр. НИКФИ, 1960, 37, 78.
 [101] H. Frieger, E. Ranz, Berichte Buns. Gessel. phys. Chem., 1964, 68, 389.
 [102] D. M. Spracklen, J. Phot. Sci., 1966, 14, 220.
 [103] D. M. Spracklen, J. Phot. Sci., 1967, 15, 249.
 [104] W. Bahnmüller, J. Phot. Sci., 1968, 16, 35.
 [105] H. Frieger, W. Bahnmüller, J. Phot. Sci., 1968, 16, 38.
 [106] O. Stasiw, Z. Phys., 1951, 130, 39.
 [107] A. Hautot, H. Sauvenier, Sci. et Ind. Phot., 1958, 28, 57.
 [108] E. A. Sutherns, E. E. Loening, J. Phot. Sci., 1956, 4, 154.
 [109] J. W. Mitchell, Z. Elektrochem., 1956, 60, 557.
 [110] J. H. Burrow, J. W. Mitchell, Phil. Mag., 1954, 45, 208.
 [111] W. West, V. J. Saunders, Sci. Phot. Liege, 1962, 179.
 [112] J. Malinowski, Cont. Phys., 1967, 8, 285.
 [113] C. E. K. Mees, T. H. James. The Theory of the Photographic Processes. McMillan Company, N. Y.—London, 1966, p. 114.
 [114] П. В. Мейкляр, Усп. научн. фотогр., 1951, I, 228.
 [115] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 276.
 [116] J. Bourdon, A. Bonnerot, Sci. et Ind. Phot., 1961, 32, 339.
 [117] D. M. Spracklen, J. Phot. Sci., 1961, 9, 145.
 [118] H. E. Spencer, R. E. Atwell, J. Opt. Soc. Am., 1964, 54, 498.
 [119] М. М. Воронцова, М. П. Кирьянова, Н. Е. Цукаленко, Научн. ежегодн. Одесского ун-ва, 1959.
 [120] В. М. Белоус, Л. П. Мельничук, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1967, 172, 1357.
 [121] И. А. Новиков, Н. С. Гафурова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 173; 1959, 4, 193.
 [122] K. C. D. Hickman, Phot. J., 1927, 67, 34.
 [123] W. Platikanowa, J. Malinowski, Phys. Stat. Sol., 1966, 14, 205.
 [124] F. W. Willets, Phot. Sci. Symp., Torino, 1963, Focal Press, London, p. 32.
 [125] R. Matejes, Naturwiss., 1956, 43, 533.
 [126] J. W. Mitchell, N. F. Mott, Phil. Mag., 1957, 8 (2), 1149.
 [127] П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 46.
 [128] Е. А. Галашии, К. В. Чибисов, ДАН СССР, 1968, 178, 627, 872.
 [129] И. Р. Протас, Ю. А. Кракау, П. Т. Сидоренко'ва, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 87.
 [130] И. А. Новиков, Н. С. Гафурова, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 96.
 [131] П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 459; 1968, 13, 69.
 [132] А. Л. Картужанский, Усп. физ. наук, 1953, 51, 161.
 [133] П. В. Мейкляр, В. М. Шварц, З. В. Харитонова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 381.
 [134] Ю. Ш. Мошковский, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 77.
 [135] H. E. Spencer, R. E. Atwell, J. Opt. Soc. Am., 1966, 56, 1095.
 [136] П. В. Мейкляр, ЖЭТФ, 1952, 23, 217.
 [137] П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 62.
 [138] J. H. Webb, J. Opt. Soc. Am., 1950, 40, 3.
 [139] А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, ДАН СССР, 1960, 131, 64.
 [140] А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 449; 1962, 7, 57.
 [141] Б. И. Казанцев, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1958.
 [142] Б. И. Казанцев, П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 401.
 [143] J. W. Mitchell, Rep. Progr. Phys., 1957, 20, 433.
 [144] H. E. Spencer, D. H. Shages, J. Opt. Soc., Am., 1967, 67, 508.
 [145] J. B. Rothstein, Phot. Sc. Eng., 1959, 3, 255; 1960, 4, 5.
 [146] В. И. Калашникова, Д. М. Самойлович, Ю. Ф. Певчев, К. Г. Финюгенов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 464.
 [147] А. А. Колюбин, Ю. Ф. Певчев, К. Г. Финюгенов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 42.
 [148] М. З. Пескова, П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 352.
 [149] И. А. Акимов. Элементарные фотопроецессы в молекулах. Сб., посвящ. 70-летию акад. А. Н. Теренина, изд. «Наука», М., 1966, стр. 397.
 [150] Л. Г. Гросс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 54.
 [151] П. В. Мейкляр, М. Д. Мирмилштейн, А. А. Садикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 401.
 [152] З. П. Докучаева, А. А. Садикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 350.
 [153] В. Е. Холмогоров, И. А. Акимов, ДАН СССР, 1962, 144, 402.
 [154] С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 300.
 [155] А. В. Борин, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 183.
 [156] И. А. Акимов, В. М. Бенца, Ф. И. Вилесов, А. Н. Теренин, ДАН СССР, 1967, 172, 374; Phys. Stat. Sol., 1967, 20, 771.
 [157] N. F. Mott, Phot. J., 1948, 888, 119.
 [158] См. [51], стр. 178.
 [159] V. H. Carroll, E. A. MacWilliam, R. V. Henrickson, Phot. Sc. Eng., 1961, 5, 230.
 [160] П. В. Мейкляр, Б. И. Степанов, ЖФХ, 1947, 21, 15.
 [161] W. West, Phot. Sc. Eng., 1962, 6, 92.
 [162] В. В. Овсянкин, П. П. Феофилов, ДАН СССР, 1967, 174, 787.
 [163] Л. Н. Ицкович, П. В. Мейкляр, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 132, 288.
 [164] А. С. Хейнман, С. В. Натансон, Н. С. Спасокукоцкий, А. Ф. Вомпе, Р. В. Караульщикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 44.
 [165] А. С. Хейнман, В. П. Донатова, Л. Н. Бочарова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 61.
 [166] О. Ф. Ракитянская, ЖФХ, 1963, 37, 1167; 1964, 38, 1008; 1965, 39, 442.

И. Р. ПРОТАС
 НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИНТЕЗА
 ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЭМУЛЬСИЙ

Осветить в сообщении все работы по теории синтеза фотографических эмульсий, проведенные и опубликованные в Советском Союзе за 50 лет, очень трудно. Многие аспекты теории синтеза эмульсий изложены в монографиях и обзорах К. В. Чибисова [1—3] и В. Л. Зеликмана [4, 5]. Работы, касающиеся природы светочувствительности, детально освещены П. В. Мейкляром [6], а проблемы, связанные с ядерной фотографией, — Н. А. Перфиловым [7] и К. С. Богомоловым [8].

Рассмотрим вопросы, являющиеся одними из важнейших в проблеме синтеза фотографических эмульсий, а именно связанные с проблемой разрешающей способности фотографических материалов, т. е. с их способностью воспроизводить мелкие детали оптического изображения.

Эмульсионный слой фотографических материалов представляет собой полидисперсную систему, состоящую из диспергированных в желатиновом геле микрокристаллов галоидного серебра. Размеры этих микрокристаллов, их форма, количество и распределение в слое определяют в основном оптические свойства слоя. От последних в свою очередь зависит разрешающая способность фотографических материалов, а также ряд других специфических свойств, определяющих качество передаваемого ими изображения. Изучение природы разрешающей способности эмульсионных слоев поэтому должно быть непосредственно связано с изучением их дисперсионных, структурных и оптических свойств.

Изучение дисперсионных свойств фотографических эмульсий было начато в СССР работой С. В. Чердынцева [9], выполненной по инициативе К. С. Ляликова и опубликованной в 1933 г. В этой работе кривые распределения эмульсионных микрокристаллов по размерам получены микрофотографическим методом, который широко применяется и в настоящее время.

Первой работой в СССР по изучению разрешающей способности фотографических материалов следует считать исследование, проведенное в 30-х годах Ф. Л. Бурмистровым [10] по инициативе Т. П. Кравца. Результатом этой работы явилась экспериментальная установка для определения разрешающей способности, послужившая основой для создания специального прибора — резольвометра, который широко использовался в последующие годы при определении разрешающей способности фотографических материалов [11].

Первая отечественная работа по исследованию влияния эмульсионных факторов на разрешающую способность светочувствительного слоя была опубликована в 1935 г. К. В. Чибисовым и Н. В. Макаровым [12]. Следует подчеркнуть, что до этой работы все опубликованные в мировой

литературе исследования разрешающей способности проводили на промышленных фотографических материалах, условия изготовления которых были неизвестны. Существенным шагом вперед поэтому следует признать первое исследование разрешающей способности, проведенное на специально синтезированных для этой цели эмульсиях.

Влияние условий эмульсификации и физического созревания на разрешающую способность слоя

К. В. Чибисов и Н. В. Макаров показали [12], что из многих факторов существенно увеличивают разрешающую способность те, которые приводят к уменьшению размеров микрокристаллов галоидного серебра, а именно увеличение скорости эмульсификации и количества AgI в эмульсии, уменьшение сверхэквивалентного избытка бромидов калия и др.

Аналогичные результаты были позже получены И. Р. Протас и П. М. Чулковым [13] и И. М. Килинским [14].

Уменьшение разрешающей способности эмульсионного слоя с увеличением размеров микрокристаллов связано с различием в оптических

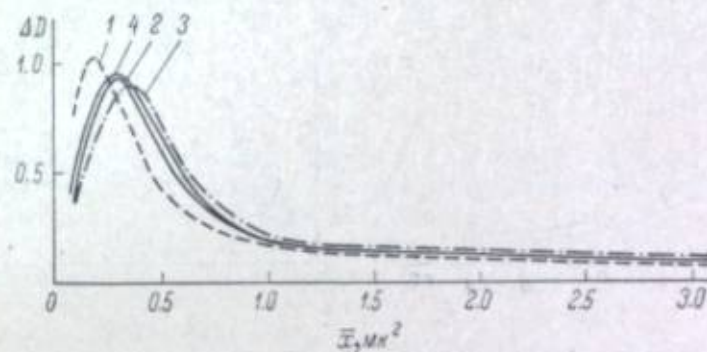


Рис. 1. Рассеяние света непроявленными эмульсионными слоями в зависимости от среднего размера эмульсионных микрокристаллов.

Светофильтры: 1 — синий; 2 — зеленый; 3 — красный; 4 — без светофильтра.

свойствах эмульсий разной дисперсности и в первую очередь с рассеянием ими света. С этой точки зрения светочувствительный слой фотографического материала следует рассматривать как плоский слой мутной среды, рассеивающий и поглощающий свет.

Проведенные П. Х. Прусс [15, 16] измерения рассеяния света непроявленными эмульсионными слоями, содержащими одинаковое количество AgHal и различающимися лишь размером эмульсионных микрокристаллов, и сопоставление полученных данных с разрешающей способностью эмульсионных слоев [17] показали, что нет прямой связи между рассеянием света слоем в целом (ΔD) и его разрешающей способностью (рис. 1, 2). Последняя величина в большей степени определяется рассеянием света единичными микрокристаллами, т. е. их относительным средним коэффициентом рассеяния (K'_p).

Для реальных полидисперсных систем, какими являются фотографические эмульсии, относительный средний коэффициент рассеяния микрокристаллами AgHal равен

$$K'_p = \Delta D v,$$

где v — средний объем микрокристаллов.

При оценке интенсивности света, рассеиваемого эмульсионными слоями, необходимо учитывать не только размер площади проекции кристаллов, но и их толщину. П. В. Мейкляр [18] и П. Х. Прусс и П. В. Мейкляр [19] разработали методику измерения толщины эмульсионных микрокристаллов с помощью микроинтерферометра Линника [20]. Используя этот метод, П. В. Мейкляр, И. Р. Протас, П. Х. Прусс и Ю. А. Кракау [21] показали, что размер и форма микрокристаллов определяются в основном составом среды, в которой происходит их образование и рост.

Микрокристаллы, растущие в аммиачной среде ($C_{NH_3} \geq 0.5 M$), приближаются по форме к кубу с закругленными гранями (рис. 3). При синтезе эмульсий в отсутствие аммиака, когда растворителем галогенида серебра является только бромид калия, образуются пластинчатые микрокристаллы, имеющие в проекции трех- или шестигранную форму. Внешнее ограничение таких микрокристаллов тем совершеннее, чем больше их размеры. Зависимость между площадью проекции микрокристалла x

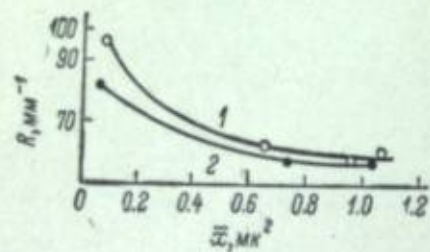


Рис. 2. Разрешающая способность двух типов эмульсионных слоев в зависимости от среднего размера эмульсионных микрокристаллов.

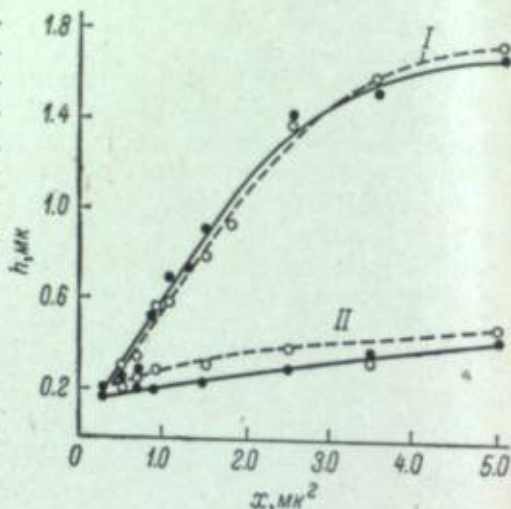


Рис. 3. Толщина различных эмульсионных микрокристаллов в зависимости от площади проекции и типа эмульсии. I — аммиачная, II — безаммиачная эмульсия.

и отношением \sqrt{x}/h (h — толщина микрокристалла) характеризует его форму. Приближение этого отношения к 1.0 указывает на стремление в процессе роста микрокристалла к кубической (или шарообразной) форме (аммиачные эмульсии). Наоборот, чем меньше толщина микрокристалла по сравнению с \sqrt{x} , тем больше его форма приближается к пластинчатой (безаммиачные эмульсии) (рис. 4).

Как было показано И. Р. Протас, В. В. Воробьевой и Ю. А. Кракау [22, 17], аммиачные и безаммиачные эмульсии различаются не только по форме микрокристаллов, но и по дисперсии (σ), характеризующей разнообразие микрокристаллов по размерам. Зависимость $\sigma = f(x)$ для многих эмульсий как аммиачного, так и безаммиачного типа близка к линейной (рис. 5). При этом коэффициент вариации $C_V = 100 \frac{\sigma}{x}$, характеризующий относительную полидисперсность эмульсий, имеет значение $C_V \sim 50$ для аммиачных эмульсий и $C_V \sim 80$ для безаммиачных эмульсий.

Таким образом, если сравниваются дисперсионные свойства аммиачных и безаммиачных эмульсий при $C_{AgHal} = const$, то следует всегда иметь в виду, что при одинаковом среднем размере площади проекции микрокристаллов рассматриваемые эмульсии будут различаться формой микро-

кристаллов, числом их в единице объема (поскольку толщины их различны) и дисперсией.

Это различие в толщинах микрокристаллов аммиачных и безаммиачных эмульсий и в их дисперсии приводит к различию в рассеянии ими света, и, следовательно, должно привести к различию в их разрешающей способности.

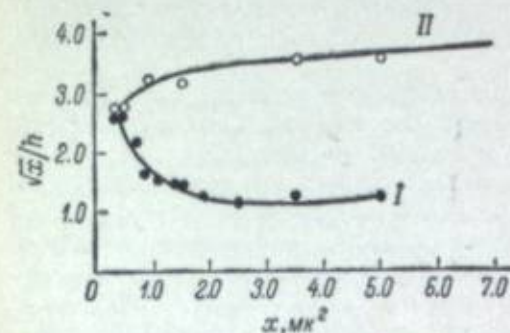


Рис. 4. Форма эмульсионных микрокристаллов в зависимости от площади проекции и типа эмульсии.

I — аммиачная, II — безаммиачная эмульсия.

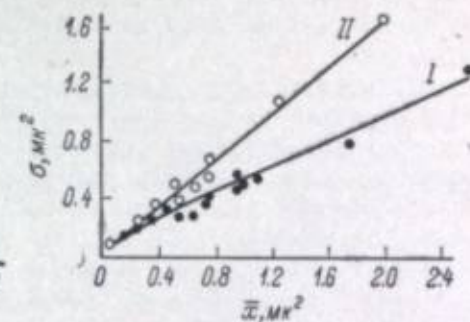


Рис. 5. Дисперсия эмульсионных микрокристаллов в зависимости от их среднего размера и типа эмульсии.

I — аммиачная, II — безаммиачная эмульсия.

При данной концентрации $AgHal$ в слое и при одинаковом среднем размере эмульсионных микрокристаллов слой аммиачных эмульсий обладает более высокой разрешающей способностью и вместе с тем, в большом интервале средних размеров микрокристаллов, большим рассеянием слоя в целом, чем слой безаммиачных эмульсий (рис. 6, 7) [17]. Этот факт

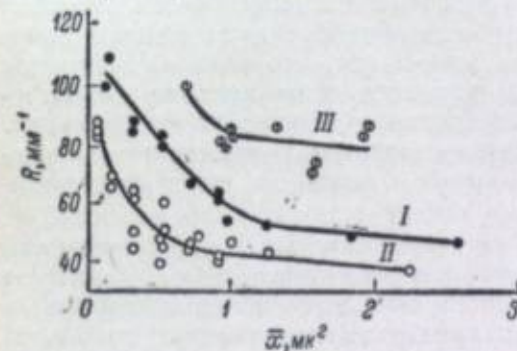


Рис. 6. Разрешающая способность эмульсионных слоев в зависимости от среднего размера эмульсионных микрокристаллов.

I — эмульсия аммиачного типа; II — эмульсия безаммиачного типа; III — фракция эмульсий безаммиачного типа.

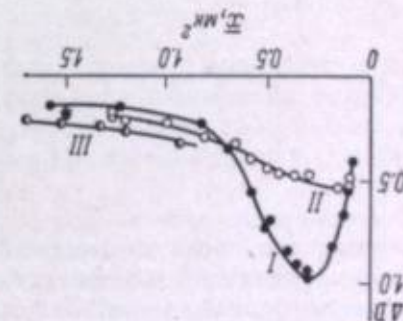


Рис. 7. Рассеяние света непрозраченными эмульсионными слоями в зависимости от среднего размера эмульсионных микрокристаллов при условии $C_{AgHal} = const$.

I — эмульсия аммиачного типа; II — эмульсия безаммиачного типа; III — фракция эмульсий безаммиачного типа.

еще раз подтверждает отсутствие соответствия между рассеянием слоя в целом и его разрешающей способностью.

Чтобы установить связь между формой микрокристаллов $AgHal$, рассеянием ими света и разрешающей способностью слоя, необходимо создать эмульсии, различающиеся только лишь формой микрокристаллов. С этой целью П. Х. Прусс [23] подвергла седиментационному фракционированию

рованию более полидисперсную безаммиачную эмульсию и получила фракции безаммиачных эмульсий с таким же значением C_T , как и у аммиачных эмульсий, но с пластинчатыми микрокристаллами.

Сопоставление (рис. 8) относительного среднего коэффициента рассеяния микрокристаллов аммиачных эмульсий и фракций безаммиачных эмульсий показало, что в исследуемом интервале средних размеров микрокристаллы пластинчатой формы рассеивают свет меньше, чем равные им по площади проекции, но более толстые микрокристаллы аммиачных эмульсий.

Различие в коэффициентах рассеяния микрокристаллами разной формы предопределяет различие в разрешающей способности. Опыты показали, что при прочих равных условиях и в первую очередь при постоянной дисперсии слоев, политые фракцией безаммиачных эмульсий, обладают более высокой разрешающей способностью, чем слои исходных безаммиачных и даже аммиачных эмульсий (рис. 6). Это было подтверждено работой И. Р. Протас, П. Т. Сидоренковой и Т. В. Рыжковой [24], в которой показано, что выделенная из безаммиачной эмульсии низкодисперсная фракция ($x \sim 1.4 \text{ мк}^2$, $C_T \sim 45$) будет обладать более высокой разрешающей способностью (90 мм^{-1}), чем исходная более высокодисперсная эмульсия ($x \sim 0.8 \text{ мк}^2$, $C_T \sim 75$), имеющая разрешающую способность около 75 мм^{-1} .

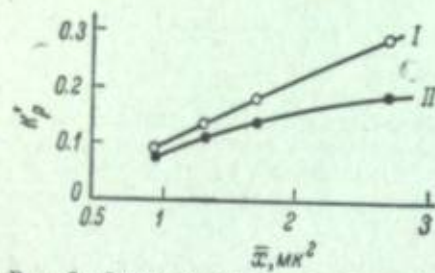


Рис. 8. Относительный средний коэффициент рассеяния непрозрачных эмульсионных слоев в зависимости от среднего размера эмульсионных микрокристаллов одинаковой дисперсии. I — эмульсия аммиачного типа; II — фракция эмульсий безаммиачного типа.

Наблюдаемые низкие значения разрешающей способности исходных безаммиачных эмульсионных слоев показывают, что помимо рассеяния света отдельными микрокристаллами существенное влияние на разрешающую способность слоя оказывает также полидисперсность эмульсий. Последнее обусловлено тем, что разнообразие микрокристаллов по размерам непосредственно вызывает разнообразие их по светочувствительности.

Присутствующие в слое более светочувствительные микрокристаллы в результате фотохимического действия рассеянного света участвуют в образовании изображения даже в тех случаях, когда они не подвергаются действию прямого света. Это явление приводит к размыванию изображения, падению его контраста и уменьшению разрешающей способности слоя [17, 25].

Следовательно, при исследовании связи между разрешающей способностью слоя и рассеянием в нем света нельзя ограничиться изучением только лишь закономерностей рассеяния света внутри эмульсионного слоя и не учитывать фотографические свойства слоя и в первую очередь способность слоя регистрировать рассеянный свет.

Таким образом, разрешающая способность слоя должна определяться дисперсионными свойствами эмульсий как следствие того, что от них зависит рассеяние света, так и следствие того, что распределение микрокристаллов AgNaI по размерам в какой-то мере соответствует распределению их по светочувствительности.

Изменить разнообразие микрокристаллов по размерам, а следовательно и по светочувствительности, можно не только изменением состава дисперсионной среды при эмульсификации.

Опытами И. Р. Протас, В. В. Воробьевой, Ю. А. Кракау и П. Х. Прусс [22] было показано, что все эмульсионные факторы, способствующие слипанию микрокристаллов друг с другом, также могут привести к падению разрешающей способности слоя. Последнее обусловлено, вероятно, тем, что такие слипшиеся микрокристаллы можно рассматривать как единый микрокристалл с повышенной проявляемостью. Наличие в эмульсии слипшихся микрокристаллов увеличивает разнообразие светочувствительности эмульсионных микрокристаллов и уменьшает разрешающую способность слоя.

Опытами было установлено, что такое слипание возможно в тех случаях, когда образование микрокристаллов происходит в недостаточных объемах дисперсионной среды, при очень быстрой эмульсификации и кратком последующем физическом созревании, недостаточном содержании желатинины при эмульсификации и т. д.

Разнообразие микрокристаллов по светочувствительности можно достичь и путем смешения эмульсий различной дисперсности. Так, опытами З. И. Грацианской [25] было показано, что аналогично тому, как низкодисперсные фракции безаммиачных эмульсий обладают большей разрешающей способностью, чем более высокодисперсные исходные эмульсии [24], так и разрешающая способность слоев, приготовленных из смеси эмульсий различной дисперсности оказывается всегда ниже, чем разрешающие способности каждой из смешиваемых эмульсий.

Влияние условий химического созревания на разрешающую способность слоя

Распределение микрокристаллов по светочувствительности можно в небольшой степени изменить и без изменения дисперсионных свойств эмульсий. З. И. Грацианской [17, 25] было показано, что если отбирать при химическом созревании пробы эмульсии через определенные промежутки времени и исследовать их разрешающую способность, то все эти пробы будут обладать одинаковой разрешающей способностью, так как сколько-нибудь существенного изменения распределения микрокристаллов по светочувствительности в каждой из проб не происходит. Если же смешать пробы, время химического созревания которых различно, то разрешающая способность такой смеси будет всегда ниже, чем исходных проб.

Наконец, используя химические сенсibilизаторы, способные повлиять на распределение микрокристаллов по светочувствительности, можно также несколько изменить разрешающую способность эмульсий в процессе химического созревания.

Так, при измерении распределения микрокристаллов по светочувствительности в эмульсиях до и после сенсibilизации их золотом было показано, что золотая сенсibilизация выравнивает микрокристаллы по светочувствительности, повышая светочувствительность мелких микрокристаллов и десенсibilизируя крупные микрокристаллы. Соответственно сенсibilизация золотом приводит к некоторому увеличению разрешающей способности слоя [17].

Иначе ведет себя триэтанолламин — сенсibilизатор совершенно иного гипа. По данным А. П. Жданова, А. Л. Каргужанского, И. В. Рыжковой и Л. И. Шур [26], триэтанолламин повышает светочувствительность наиболее крупных, т. е. наиболее светочувствительных микрокристаллов в данной эмульсии. Следовательно, триэтанолламин должен увеличивать разнообразие микрокристаллов по светочувствительности и тем самым уменьшать разрешающую способность эмульсионного слоя. Соответствующие опыты, в которых триэтанолламин вводили в эмульсии в конце

химического созревания, показали, что триэтанолами действительно понижает разрешающую способность слоя [17].

Наоборот, химическое созревание может привести к повышению разрешающей способности особо высокодисперсных эмульсий. Как показали И. А. Новиков и Б. Б. Цуртвиш [27], а также Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова и В. И. Захаров [28], для эмульсий со средним диаметром микрокристаллов $AgHal$ порядка нескольких сотых микрона дисперсионная среда при химическом созревании, используемая для обычных более низкодисперсных эмульсий, может оказаться растворителем таких высокодисперсных эмульсий. В результате в процессе химического созревания могут идти характерные для физического созревания процессы перекристаллизации и роста микрокристаллов и, следовательно, падение разрешающей способности.

Итак, разрешающая способность эмульсионного слоя в основном определяется условиями эмульсификации и физического созревания, так как на этих стадиях формируются структурные свойства эмульсий — размеры микрокристаллов, их форма и дисперсия. Однако последующим химическим созреванием можно несколько повысить или понизить разрешающую способность слоя путем изменения распределения микрокристаллов по светочувствительности.

Влияние условий оптической сенсibilизации эмульсий на разрешающую способность слоя

По окончании химического созревания эмульсии, как известно, подвергают оптической сенсibilизации.

Литературные данные о влиянии оптической сенсibilизации на разрешающую способность фотографических материалов были до 1952 г.

весьма противоречивы. В одних работах [12, 14] было установлено, что оптическая сенсibilизация уменьшает или не изменяет разрешающую способность слоя. Другие работы [13], напротив, указывают на возможность значительно повысить разрешающую способность эмульсий путем их оптической сенсibilизации.

Так как разрешающая способность эмульсионного слоя в большой сте-

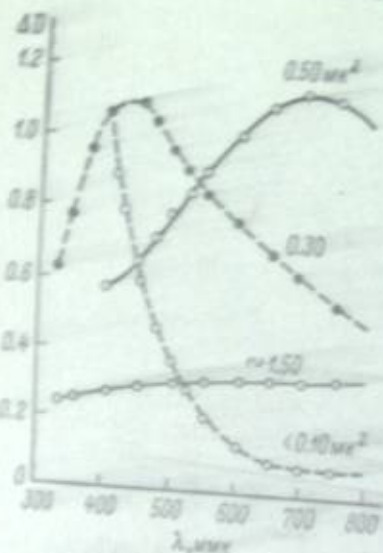


Рис. 9. Спектральный ход рассеяния света эмульсионными слоями с микрокристаллами разной дисперсности (величины x указаны на кривых).

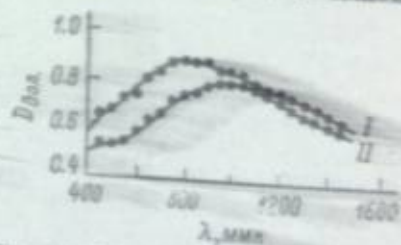


Рис. 10. Спектральный ход рассеяния света низкодисперсными ($x \approx 0,94 \text{ мкм}^2$) эмульсионными слоями с микрокристаллами различной формы.

I — эмульсия диметного типа; II — бромидная эмульсия безметаллического типа.

на разрешающую способность эмульсионных слоев связано с различием в спектральном ходе рассеяния света разными слоями.

Систематическое исследование спектрального хода рассеяния света непроявленными светочувствительными слоями, различающимися лишь размером эмульсионных микрокристаллов, было проведено И. И. Брейдо и П. Х. Прусс для видимой области спектра [29] и П. Х. Прусс для инфракрасной [23]. Эти исследования показали, что по мере понижения дисперсности эмульсий максимум спектральных кривых рассеяния перемещается из синей части спектра (при $x \leq 0,2 \text{ мкм}^2$) в красную (при $x \sim 0,5 - 0,6 \text{ мкм}^2$) и далее в инфракрасную область (при $x > 0,8 \text{ мкм}^2$; рис. 9, 10).

В соответствии со спектральным ходом рассеяния света панхроматическая сенсibilизация высокодисперсных эмульсий, рассеивающих преимущественно синие лучи, приводит к значительному повышению разрешающей способности первых. В то же время панхроматическая сенсibilизация эмульсий средней дисперсности приводит к понижению разрешающей способности, так как эти слои рассеивают преимущественно красную область спектра.

На разрешающую способность низкодисперсных эмульсий панхроматическая сенсibilизация существенного влияния не оказывает, поскольку максимум спектрального хода рассеяния лежит для этих слоев в инфракрасной области спектра. По этой же причине в случае инфрахроматической сенсibilизации низкодисперсных эмульсий будет всегда наблюдаться падение разрешающей способности [30].

Влияние условий полива эмульсий на разрешающую способность слоя

Рассеяние света эмульсионными слоями можно варьировать не только изменением размера и формы микрокристаллов $AgHal$, дисперсией эмульсии и условиями ее химической и оптической сенсibilизации, но и изменением структурных свойств эмульсионного слоя в целом.

Сюда в первую очередь относятся такие факторы, как концентрация $AgHal$ в слое и толщина эмульсионных слоев.

Проведенное П. Х. Прусс и В. И. Максиной [31] исследование распределения светового потока внутри эмульсионного слоя показало, что при нормальной концентрации $AgHal$ в слое яркость рассеянного света мала. Соответственно велика и разрешающая способность слоя. С уменьшением же концентрации $AgHal$ яркость рассеянного света возрастает (рис. 11). Кроме того, увеличивается расстояние между микрокристаллами, что ведет к увеличению объема, в котором реализуется рассеянный свет, и, наконец, уменьшается поглощение света. Все это приводит к уменьшению разрешающей способности (рис. 12). Если продолжать уменьшать концентрацию $AgHal$ в слое, то рассеяние также начнет уменьшаться, так как при очень малых концентрациях соли начинает преобладать однократное рассеяние и сильно уменьшается поглощение. При этих концентрациях $AgHal$ в слое разрешающая способность вновь начинает увеличиваться. Однако практически эти малые концентрации в слое не могут быть использованы, так как оптические плотности проявленного изображения при этих концентрациях очень малы.

Таким образом, в реальных условиях можно считать, что увеличение концентрации галогенида серебра в слое приводит к повышению разрешающей способности. Аналогичные данные были позже получены В. Л. Зеликманом и В. А. Дмитриевой [32] для эмульсий различной дисперсности.

В работе П. Х. Прусс и В. И. Максиной [31] было также показано, каким образом толщина эмульсионного слоя влияет на разрешающую

способи определяется рассеянием света микрокристаллами $AgHal$, то естественно было считать, что различное влияние оптической сенсibilизации

способность слоя (рис. 13). Было установлено, что в соответствии с теоретическими расчетами Н. Г. Болдырева и А. Д. Александрова [33] яркость рассеянного в различных направлениях света возрастает с увеличением толщины слоя, доходит до максимальных значений и далее слегка уменьшается. Соответственно разрешающая способность с увеличением толщины слоя уменьшается, достигая при некоторой толщине определяемой концентрацией $AgNaI$ в слое более или менее постоянного значения. Аналогичные результаты были получены И. А. Новиковым [34], а при облуче-

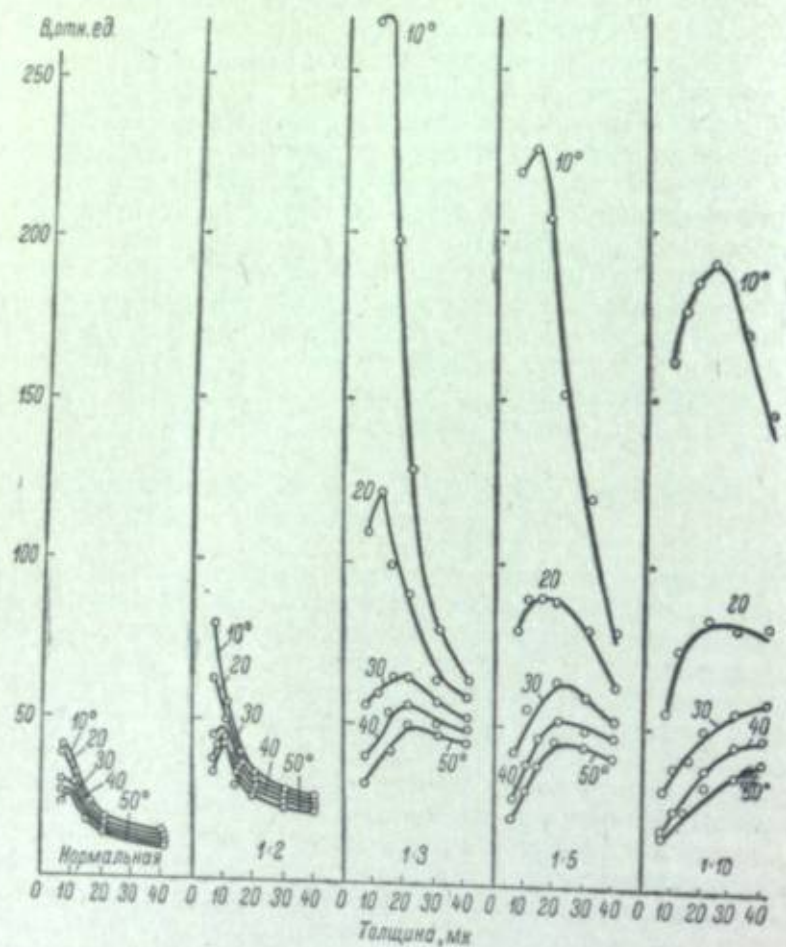


Рис. 11. Яркость рассеянного эмульсионными слоями света в зависимости от толщины слоев при различной концентрации галогенидов серебра.

нии эмульсионных слоев α - и β -частицами — А. Л. Каргужанским и Б. П. Солтицким [35].

Таким образом, ход зависимости разрешающей способности эмульсионных слоев от их толщины и концентрации галогенида в них качественно согласуется с данными по распределению светового потока в эмульсионных слоях.

Проведенные И. Р. Протас и П. Х. Прусс [36] сопоставления данных о зависимости суммарного количества рассеянного слоем света, его коэффициента контрастности и разрешающей способности от толщины эмульсионного слоя показало, что, как уже мы подчеркивали, величины, характеризующие свойства слоя в целом, т. е. коэффициент контрастности и количество рассеянного слоем света, не могут определять разрешающую

способность слоя. Определяющими являются характер однократного рассеяния и распределение светового потока внутри эмульсионного слоя.

Следует упомянуть еще об одном методе повышения разрешающей способности слоя, основанном на увеличении поглощения слоем света и соответственно уменьшении его рассеяния. Этот метод состоит в прокраске эмульсионного слоя несенсибилизирующим красителем, в частности тартрацином [12, 14, 34]. Однако практическое значение этого метода очень ограничено, так как повышение разрешающей способности, вызванное прокраской слоя, одновременно сопровождается падением светочувствительности.

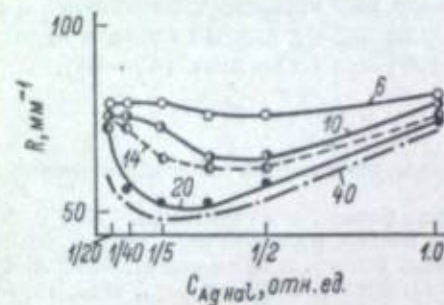


Рис. 12. Разрешающая способность эмульсионных слоев разной толщины (в мк, указано на кривых) в зависимости от концентрации галогенида серебра.

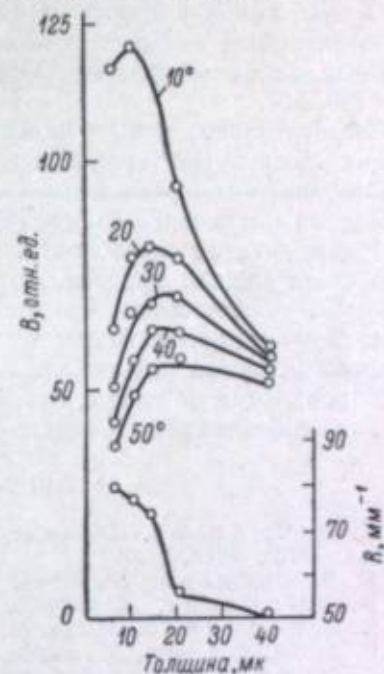


Рис. 13. Разрешающая способность и яркость рассеянного слоя света в зависимости от толщины эмульсионного слоя.

Разрешающая способность цветных многослойных материалов

Ю. Н. Гороховский с Т. М. Левенберг и П. Х. Прусс [37, 38] указали, что одной из основных причин относительно низких значений разрешающей способности в среднем и особенно нижнем слоях многослойных фотографических материалов является рассеяние верхними слоями света, актичного для нижележащих слоев. Изучение связи между рассеянием света верхним слоем и разрешающей способностью нижележащего слоя [39] показало, что, как это было отмечено и ранее для черно-белых материалов [17], общее светорассеяние в верхнем слое не определяет однозначно разрешающую способность нижележащего слоя. При данном значении величины рассеяния света верхним слоем разрешающая способность нижележащего слоя будет тем выше, чем крупнее микрокристаллы верхнего слоя. Последнее обусловлено зависимостью разрешающей способности

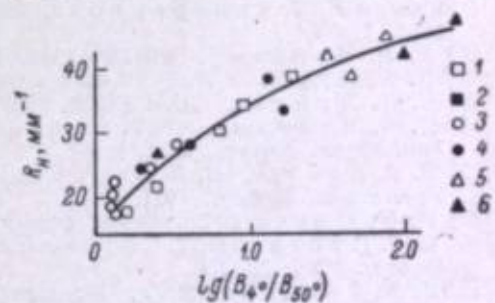


Рис. 14. Разрешающая способность нижележащего слоя в зависимости от $\lg(B_{4^\circ}/B_{50^\circ})$, характеризующую форму индикатрисы рассеяния верхних слоев. Размеры эмульсионных микрокристаллов в верхних слоях, мк: 1 — 0.08; 2 — 0.13; 3 — 0.25; 4 — 0.37; 5 — 1.07 и 6 — 1.15.

ниже лежащего слоя от формы индикатриссы рассеяния верхнего слоя. Чем она более вытянута, что является характерным для низкодисперсных эмульсий с уменьшенным содержанием галоидного серебра, тем выше будет разрешающая способность ниже лежащих слоев (рис. 14).

Существенное влияние на разрешающую способность ниже лежащих слоев оказывает также толщина верхнего слоя, или, точнее, длина пути, который рассеянный свет проходит до попадания на ниже лежащий свет [39, 40].

Следовательно, можно повысить разрешающую способность ниже лежащих слоев путем полива верхнего слоя, обладающего вытянутой формой индикатриссы рассеяния и малой толщиной слоя.

Однако для цветных многослойных пленок имеется и иной путь повышения разрешающей способности, не зависящей от закономерностей рассеяния света слоями многослойных пленок. Мы на нем останавливаться не будем, укажем лишь, что этот путь состоит в подборе последовательности нанесения элементарных слоев в комплекте негативных и позитивных многослойных материалов и подборе расположения компонент цветного проявления по слоям, без изменения расположения слоев в отношении их эффективной зональной светочувствительности [40—43].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. В. Чибисов. Основные проблемы химии фотографических процессов, Изд. МГУ, 1962.
- [2] К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 372.
- [3] К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 65.
- [4] В. Л. Зелликман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 452.
- [5] В. Л. Зелликман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 379.
- [6] П. В. Мейкляр, настоящий сборник, стр. 23—39.
- [7] Н. А. Перфилов, настоящий сборник, стр. 52—66.
- [8] К. С. Богомолов, настоящий сборник, стр. 67—77.
- [9] С. В. Чердынец, Тр. ГОИ, 1933, 9, вып. 88, 3.
- [10] Ф. Л. Бурмистров, Тр. ГОИ, 1934, 10, вып. 90, 36.
- [11] ГОСТ 2819-45.
- [12] К. В. Чибисов и Н. В. Макаров, Тр. НИКФИ, 1935, 3, 30.
- [13] И. Р. Протас и П. М. Чулков, ЖПХ, 1944, 17, 635.
- [14] И. М. Килинский, Тр. НИКФИ, 1947, 7, 69.
- [15] П. Х. Прусс, ЖТФ, 1954, 24, 50.
- [16] П. Х. Прусс, Изв. АН СССР, сер. физ., 1957, 21, 1526.
- [17] И. Р. Протас, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс, Ю. А. Кракау и П. Т. Сидоренкова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 96.
- [18] П. В. Мейкляр, ЖЭТФ, 1946, 16, 928.
- [19] П. Х. Прусс и П. В. Мейкляр, ЖТФ, 1949, 19, 1041.
- [20] В. П. Линник, ДАН СССР, 1933, 1, 18.
- [21] П. В. Мейкляр, И. Р. Протас, П. Х. Прусс и Ю. А. Кракау, Усп. научн. фотогр., 1951, 1, 60.
- [22] И. Р. Протас, В. В. Воробьева, Ю. А. Кракау и П. Х. Прусс, Усп. научн. фотогр., 1951, 1, 74.
- [23] П. Х. Прусс, Усп. научн. фотогр., 1964, X, 235.
- [24] И. Р. Протас, П. Т. Сидоренкова и Т. В. Рыжкова, Усп. научн. фотогр., 1964, X, 230.
- [25] З. И. Грацианская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 169.
- [26] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, И. В. Рыжкова и Л. И. Шур, ДАН СССР, 1958, 118, 744.
- [27] И. А. Новиков и В. Б. Цырлина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 219.
- [28] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова и В. И. Захаров, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 338.
- [29] И. И. Брейдо и П. Х. Прусс, ЖТФ, 1952, 22, 515; Усп. научн. фотогр., 1955, III, 129.
- [30] И. И. Брейдо, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 59.
- [31] П. Х. Прусс и В. И. Максина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 259.

- [32] В. Л. Зелликман и В. А. Дмитриева, Усп. научн. фотогр., 1966, XI, 161.
- [33] Н. Г. Болдырев и А. Д. Александров, Тр. ГОИ, 1935, 11, вып. 99, 24.
- [34] И. А. Новиков, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 247.
- [35] А. Л. Картужанский и Б. П. Солтицкий, Усп. научн. фотогр., 1964, X, 253.
- [36] И. Р. Протас и П. Х. Прусс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 294.
- [37] Ю. Н. Гороховский и Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотогр., 1953, II, 131.
- [38] Ю. Н. Гороховский и П. Х. Прусс, ЖТФ, 1955, 25, 221.
- [39] З. И. Грацианская и П. Т. Сидоренкова, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 29.
- [40] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский и А. Н. Иорданский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 29.
- [41] А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 52.
- [42] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский и М. К. Гречко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 359.
- [43] М. И. Барро, Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 21.

Н. А. ПЕРФИЛОВ

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Метод исследования ядерных явлений с применением толстослойных фотопластинок, покрытых специальной фотоэмульсией, чувствительной к ядерным излучениям (заряженным частицам), называют фотометодом.

Фотометодом исследовано великое множество самых различных ядерных реакций, в том числе делительных, под действием частиц и γ -квантов самых различных энергий, от тепловых нейтронов до протонов с энергией в десятки и сотни Бэв. С его помощью открыты некоторые новые частицы из семейства мезонов и гиперонов, проведена расшифровка схем их распада, обнаружены антипротон и антинейтрон.*

Как детектор радиоактивных излучений фотолампочка применяется давно. Известно, что открытие Беккерелем явления радиоактивности урана было связано с обнаруженным им потемнением фотолампочки, завернутой в черную бумагу и находившейся в контакте с содержащим уран минералом.

Быстрая заряженная частица — электрон, протон, дейтрон, α -частица или любой другой ионизированный атом с достаточной энергией, проходя через фотослой, превращает часть зерен бромида серебра на своем пути в зерна, способные к избирательному проявлению. След частицы становится наблюдаемым в микроскоп в виде цепочки из проявленных зерен.

Плотность следа (число проявленных зерен на единицу длины, ширина следа в тех случаях, когда зерна не разделяются) определяется величиной удельных потерь энергии вдоль пути частицы, которые пропорциональны квадрату ее заряда и обратно пропорциональны скорости движения и не зависят от массы. Наименьшие удельные ионизационные потери энергии будут иметь частицы, несущие единичный положительный или отрицательный заряд и имеющие скорости, близкие к скорости света.

В настоящее время специальные фотоэмульсии для ядерных исследований настолько чувствительны, что регистрируют с достаточной плотностью проявленных зерен (около 40 зерен на 100 мк пробега) и частицы с минимальными удельными потерями энергии. Получение фотослоев такой чувствительности сделало фотометод совершенно незаменимым при исследовании многих явлений из области ядерной физики, а также и ряда других областей — астрофизики, биологии, геологии.

Краткий исторический обзор

Фотометод в том виде, каким он является в настоящее время, есть результат настойчивых и трудоемких изысканий нескольких поколений ученых.

* Более подробно о применении фотометода см. в работах [1—4].

До 1925 г. для детектирования α -, β -, γ -излучений различных радиоактивных веществ исследователи пользовались обычными фотолампочками, изготовленными для фотографии видимым светом. Обычная фотолампочка, имеющая очень большой разброс зерен по размерам и малую толщину фотослоя (~ 10 мк), была очень несовершенным детектором радиоактивных излучений (рис. 1).

В 1925 г. Л. В. Мысовский в Радиовом институте им. В. Г. Хлопина предложил для регистрации радиоактивных превращений с излучением α -частиц готовить специальные фотолампочки со значительно более толстым слоем эмульсии, в котором могли бы полностью или частично укладываться пробеги от α радиоактивного распада. Им совместно с П. И. Чижовым были поставлены первые опыты по изготовлению фото-

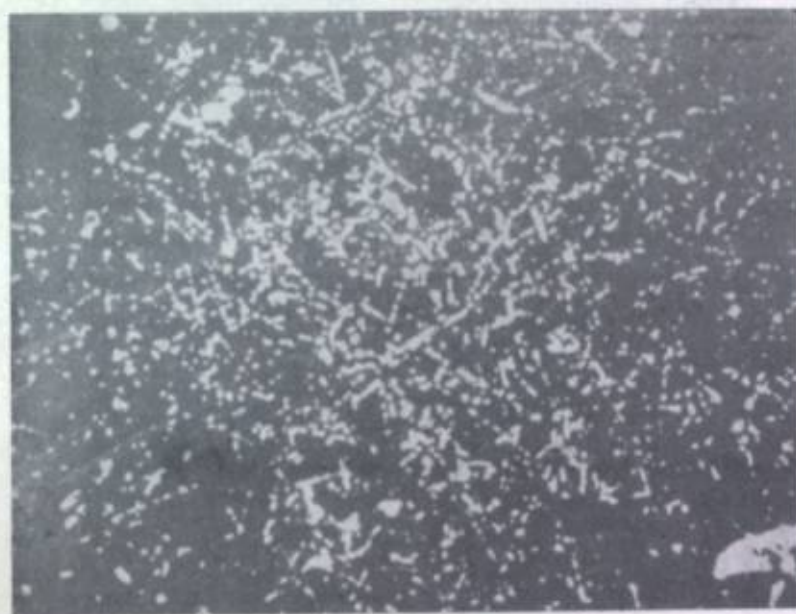


Рис. 1. Микрофотографии следов α -частиц в фотографической эмульсии типа «Process» фирмы «Ильфорд» [5].

пластинок с толщиной слоя до 50 мк и регистрации с их помощью α -частиц от распада RaC' (рис. 2) [6]; 1927 год — год появления работы [6] — следует считать датой рождения метода толстослойных фотолампочек.

До 1945 г. в Советском Союзе исследования по усовершенствованию фотометода и его применения в физических исследованиях велись исключительно в Радиовом институте.

А. П. Ждановым и М. Ю. Мысовской (до 1938 г. совместно или под руководством Л. В. Мысовского) проведены обширные методические изыскания по разработке рецептуры и технологии изготовления толстослойных фотолампочек для регистрации быстрых заряженных частиц, повышению чувствительности фотоэмульсий, установлению методов проявления и фиксирования, измерений длин следов и их углов по отношению к выбранной системе координат, разработке метода получения стереофотографий.

В работе А. П. Жданова [7] получена на основе применения к фотослою представлений, заимствованных из кинетической теории газов, формула, связывающая число проявленных зерен в следе частицы n ,

длину следа λ и средний размер зерен \bar{d} (в мк) с концентрацией M AgBr в сухом слое (мг/см²):

$$n = k\lambda \frac{M}{\bar{d}} \text{ или } \Delta = \frac{\lambda}{n} = \frac{1}{k} \cdot \frac{\bar{d}}{M},$$

где Δ — среднее расстояние между проявленными зернами (в мк).

Приведенное выражение показывает, что плотность зерен в следах заряженных частиц тем выше, чем больше концентрация бромида серебра в сухом слое. Показано также удовлетворительное согласие полученного выражения с экспериментальными данными при детектировании α -частиц от распада RaC' и Po и установлена зависимость частоты проявленных

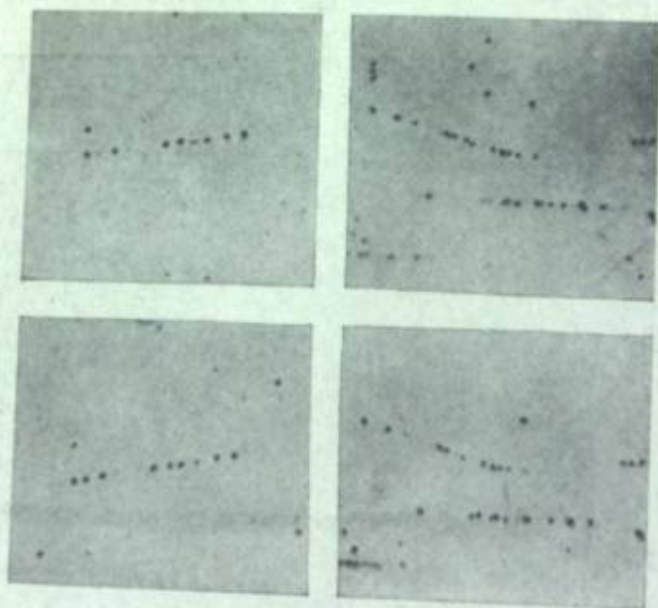


Рис. 2. Микрофотографии следов α -частиц в первых толстослойных пластинках [6].

зерен в следе от удельных потерь энергии. Если каждое задетое α -частицей зерно получает способность к проявлению, то при прохождении протонов проявляются лишь те зерна (в эмульсиях с чувствительностью, характерной для того времени), которые пересечены по хорде, близкой к диаметру.

В 20-е годы источником корпускулярных излучений являлись лишь ядра естественных радиоактивных элементов, существующие в природе. Наибольшая энергия α -частиц при распаде продуктов не превышает 9 Мэв или приблизительно проходит расстояние в сухом фотослое около 60 мк. По этой причине не требовалось очень большой толщины слоя и высокой его чувствительности для регистрации события, связанного с изучением радиоактивного распада.

30-е годы ознаменовались открытием новых, доселе неизвестных частиц — нейтронов и мезонов — и созданием первых ускорителей протонов. Одновременно очень интенсивно развиваются исследования в области ядерной физики. В конце десятилетия открыт процесс деления ядер под действием нейтронов, в результате чего человечество получило впервые доступ к мощнейшим источникам ядерной энергии.

Интенсивное развитие исследований в области ядерной физики требовало соответствующего быстрого развития и методов исследований,

среди которых значительное место начал занимать и фотометод. В результате многих экспериментов, проведенных в Радиевом институте А. П. Ждановым и М. Ю. Мысовской, технология изготовления толстослойных фотопластинок была значительно усовершенствована. Толщину фотослоя они довели до 100—150 мк, а чувствительность [8] — до регистрации частиц с удельными потерями свыше 15—20 Кэв/мк, т. е. надежно фотослоями можно было регистрировать, кроме α -частиц, также протоны до 10—15 Мэв и мезоны с энергией до 1.2 Мэв.

В 30-е и 40-е годы толстослойные фотопластинки начинают с успехом применять при исследовании взаимодействия космического излучения с веществом [9], а также при изучении процесса деления тяжелых ядер [10, 11]. Именно в фотослоях из ядерных исследований впервые были зарегистрированы мощные ядерные расщепления [12, 13] под действием частиц высокой энергии, входящих в состав космического излучения (рис. 3).

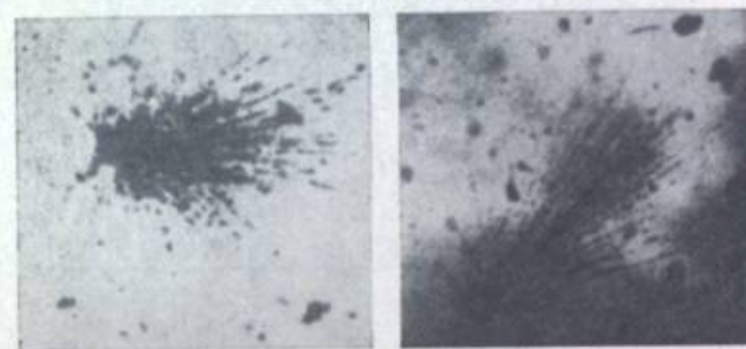


Рис. 3. Микрофотографии следов ядерного расщепления под действием космического излучения, зарегистрированные в фотослое [12, 13].

Для выделения делительных событий на ядрах элементов конца периодической таблицы, которые (события) обычно сопровождаются большим фоном α -частиц от естественной радиоактивности, нами был разработан метод [14] химического воздействия на скрытые изображения частиц в фотослое, позволивший выделить следы осколков деления при наличии фона в 10⁸ следов α -частиц на 1 см² поверхности (рис. 4).

Около середины 40-х годов больших успехов в изготовлении фотослоев высокой чувствительности для ядерных исследований были достигнуты английской фирмой «Ильфорд». Эмульсии С₂-2, выпущенные в продажу этой фирмой, могли регистрировать протоны с энергией 70—100 Мэв. Применение их при изучении взаимодействия космического излучения с веществом привело к открытию [15] π - и μ -мезонов и схемы их взаимного превращения. Несколько позднее Берриманом [16] на фирме «Кодак» были опубликованы фотографии регистрации релятивистских электронов с помощью фотослоев. Затем вновь фирмой «Ильфорд» были синтезированы [17] и выпущены в продажу фотослой из эмульсии G-5, регистрирующие заряженные частицы с минимальной ионизацией.

В Советском Союзе релятивистские фотоэмульсии с размером зерен около 0.2 мк были получены в лаборатории К. С. Богомолова (НИКФИ) [18], а также Д. М. Самойлович (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) [19]. Ядерные эмульсии с размером зерен ~ 0.08 мк, чувствительные к частицам с минимальной ионизацией, следы

которых имеют 60 зерен на 100 мк пробега,* были синтезированы в Радиовом институте [20]. На рис. 5 можно видеть микрофотографии следов частиц с различными удельными потерями энергии, зарегистрированные с помощью современных фотоэмульсий.

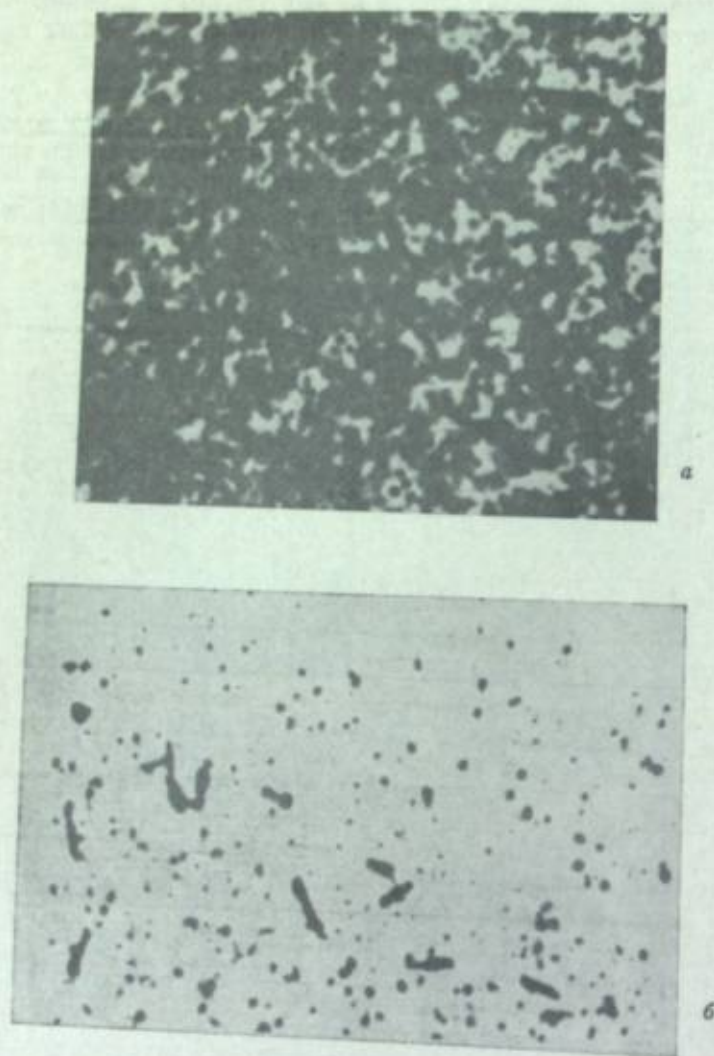


Рис. 4. Микрофотография действия окислителя на скрытое изображение следов заряженных частиц в фотослое. Фотопластинка облучена α -частицами и осколками деления [14].
а — часть пластинки, проявленная до окисления; б — часть пластинки, проявленная после действия окислителя; проявились лишь следы осколков деления.

Фотоэмульсии для ядерных исследований

Бурное развитие исследований в области ядерной физики после 1945 г. сопровождалось, как отмечалось нами ранее, фундаментальными усовершенствованиями фотометода. В Советском Союзе, кроме Радиового института, в котором работа в этом направлении не прекращалась и во время войны, организуются лаборатории в Институте атомной энергии (И. И. Гуревич, Д. М. Самойлович), в Кинофотоинституте (К. С. Бого-

* При сенсбилизации триэтанолламином.

молов, В. М. Уварова), в Государственном оптическом институте (Г. П. Фаерман, И. Р. Протас), в которых ведутся углубленные изыскания путей создания фотоэмульсий высокой чувствительности и более современных методов их обработки.

Не касаясь собственно технологических процессов, которые освещены в литературе, например в обзоре В. Л. Зеликмана [21], отметим кратко

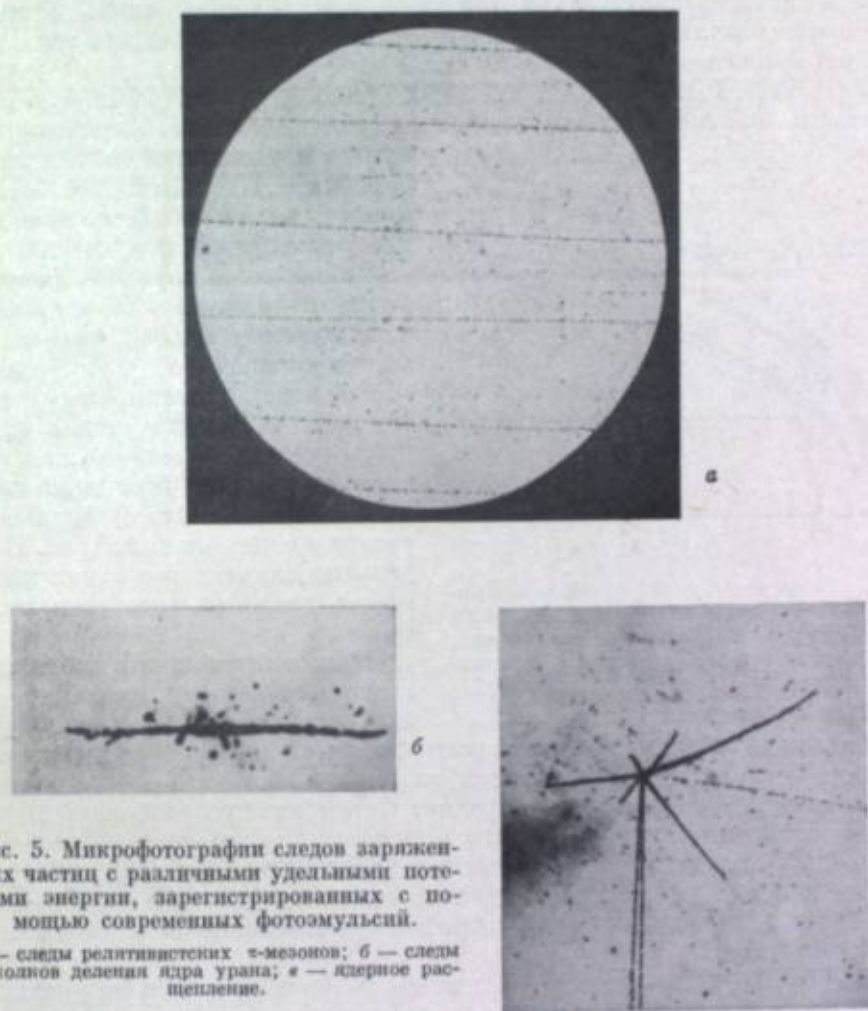


Рис. 5. Микрофотографии следов заряженных частиц с различными удельными потерями энергии, зарегистрированных с помощью современных фотоэмульсий.

а — следы релятивистских π -мезонов; б — следы осколков деления ядра урана; в — ядерное расщепление.

те цели, которые ставились при создании подходящей технологии изготовления фотоэмульсий для ядерных исследований, приготовления слоев достаточной толщины и изыскании методов их обработки.

Фотопластинка может выполнять два назначения в эксперименте: 1) быть детектором приходящих излучений от внешней по отношению к ней мишени; 2) являться одновременно и мишенью, и детектором излучений, когда изучается взаимодействие внешнего излучения с ядрами элементов: или составляющих фотослой, или введенных в него по особо разработанной методике. И в том и другом случаях желательно, чтобы вторичные частицы и продукты ядерной реакции были зафиксированы с наибольшей полнотой в фотослое. Здесь мы имеем в виду длины пробегов вторичных заряженных частиц и полное их количество, появляющееся в результате взаимодействия. Число вторичных частиц и их длины пробегов

существенно зависят от энергии, при которой совершается взаимодействие. Чем выше энергия, тем длиннее пробеги, больше число частиц в ядерном расщеплении, различающихся по своей природе.

Очевидно, что для регистрации длиннопробежных частиц желательнее готовить слои возможно большей толщины. Однако при этом встречаются трудности. Чем толще слой, тем труднее создать условия для его равномерного проявления по глубине. Продолжительность времени фиксирования возрастает значительно быстрее, чем толщина слоя. Больше вероятность появления искажений. По-видимому, пределом для толщины фотослоя является значение 1000—1200 мк [22].

Для регистрации явлений, имеющих большую пространственную протяженность, пошли по пути создания эмульсионных камер. Эмульсионная

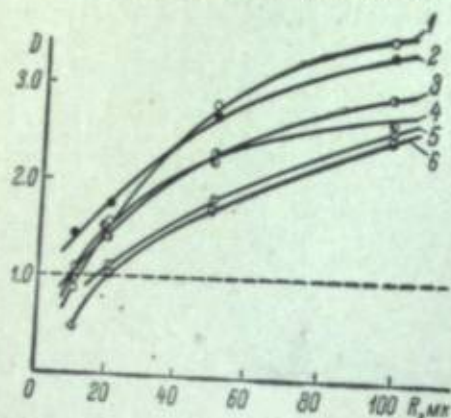


Рис. 6. Зависимость коэффициента дискриминации между B^{10} и C^{12} от остаточного пробега ионов в различных эмульсиях, различающихся размером зерен и чувствительностью [23] (см. также таблицу).

камера представляет собой прочно скрепленную особым устройством стопку из слоев фотоэмульсии, приготовленных без стеклянной или какой-либо другой подложки. Размеры камеры по форме и объему определяются возможной конфигурацией в пространстве ожидаемого явления. Так, при изучении взаимодействия с веществом частиц с энергиями в несколько Бэв облучают эмульсионные камеры с сухой эмульсией объемом в несколько литров. В отдельных случаях вес таких камер может достигать десятков килограммов.

После экспозиции в избранных экспериментатором условиях камеру маркируют игольчатым источником излучения, чтобы иметь возможность последовательно переходя из слоя и отмечая координаты относительно меток маркировки. Затем камеру разбирают на отдельные слои для их проявления.

Толщина безподложечных фотослоев, из которых набирается эмульсионная камера, чаще всего составляет величину 400—600 мк. Разработаны методы проявления таких слоев, исключающие искажения во всех трех измерениях.

Чем больше пробег частиц, тем выше их энергия и меньше удельные потери энергии в начале пробега; следовательно, тем выше должна быть чувствительность фотослоя.

При анализе зарегистрированного в фотослое явления необходимо определить природу каждой частицы (заряд и массу) по наблюдаемой в микроскоп структуре следа, а именно по изменению удельной плотности проявленных зерен вдоль следа частицы, изменению ширины следа для частиц с высокими удельными потерями, по плотности следов электронов отдачи, изменению угла многократного рассеяния. Следовательно, фотоэмульсии должны обладать хорошей разрешающей способностью (дискриминацией) к частицам различной природы. Как выяснилось в результате проведенных исследований, дискриминирующая способность фотоэмульсии тем выше, чем выше чувствительность и меньше размер зерен (рис. 6) [23]. Но размер зерен и их чувствительность являются параметрами-антагонистами. Действительно, чем меньше размер зерна, тем меньшее количество энергии оно получает при прохождении через него заряженной

Сорта фотоэмульсий

Фотоэмульсия	Средний размер зерна, мк	Концентрация, вес. %	Чувствительность
Фотоэмульсии НИКФИ			
A_2^*	0.15	83	Регистрирует α -частицы с энергией до 10 Мэв.
A_2^*	0.15	83	Регистрирует протоны с энергией до 50 Мэв.
K^*	0.15	83	Регистрирует протоны с энергией до 150 Мэв (рис. 6, 5).
T_1^{**}	0.18	79	Регистрирует α -частицы с энергией до 10 Мэв.
T_2	0.23	79	Регистрирует протоны с энергией до 15 Мэв.
T_3	0.23	79	Регистрирует протоны с энергией до 25 Мэв.
P-1 и P-2	0.28	83	Регистрирует частицы с минимальной ионизацией (30—40 зерен на 100 мк пробега).
P-3	0.18	83	Регистрирует частицы с минимальной ионизацией (30 зерен на 100 мк пробега (рис. 6, 4)).
M	0.13	83	То же.
Фотоэмульсии фирмы «Ильфорд»			
C_2	0.16	83	Регистрирует протоны с энергией до 50 Мэв.
D_1	0.12	83	Регистрирует только осколки деления.
E_1	0.14	83	Регистрирует протоны с энергией до 20 Мэв.
G_0	0.26	83	Регистрирует протоны с энергией до 30 Мэв.
G_5	0.26	83	Регистрирует частицы с минимальной ионизацией.
K_5	0.21	83	То же.
	0.13	83	То же.
Фотоэмульсии Радиового института			
$P-9_0^{***}$	0.06	81	Эмульсия осколочная.
$P-9_e$	0.06	81	Эмульсия средней чувствительности; регистрирует протоны с энергией до 50 Мэв (рис. 6, 6).
$P-9_p^{****}$	0.06	81	Регистрирует частицы с минимальной ионизацией.
PR	0.08	81	При сенсбилизации тристаноламином регистрирует частицы с минимальной ионизацией 40—50 зерен на 100 мк пробега (рис. 6, 1, 3).
$PR-2^{*****}$	0.12—0.14	81	Регистрирует частицы с минимальной ионизацией 40 зерен на 100 мк пробега (рис. 6, 2).

* Исходная рецептура эмульсий всех трех типов одинакова и отличается лишь по характеру сенсбилизации и по режиму второго созревания.

** Применяется для регистрации α -частиц в условиях облучения при сильном нейтронном фоне (не регистрирует протоны).

*** Регистрирует многозарядные ионы типа осколков от деления ядер и протоны в конце их пробега.

**** Применяется в автордиографии.

***** Готовится лабораторным способом.

частицы и тем, следовательно, меньше вероятность образования центра проявления. Поэтому создание очень мелкозернистых ядерных фотоэмульсий высокой чувствительности представляет собой задачу, казалась бы, очень трудную. Однако она была решена в Радиовом институте [20], где разработаны и внедрены в промышленность фотоядерные эмульсии с наиболее вероятным размером зерен 0.06—0.08 мк и чувствительностью вплоть до регистрации релятивистских частиц, несущих единичный заряд.

Для изучения различных ядерных реакций требуются не только фотослой максимальной чувствительности. Иногда в эксперименте ожидается наблюдение маловероятного события (малое сечение), но это событие сопровождается излучением частиц с большими удельными потерями энергии, например многозарядных ионов, фрагментов или осколков продуктов деления ядер. В таком опыте нет необходимости пользоваться фотоэмульсиями очень высокой чувствительности, так как это ограничило бы время экспозиции из-за накопления фона следов от пучка падающих сопутствующих частиц и, возможно, фона от действия γ -излучения. По этой причине среди фотоэмульсий, нужных физикам-ядерщикам, должны присутствовать как слои высокой чувствительности, так и наряду с ними слои средней и низкой чувствительности. В таблице приведены сорта фотоэмульсий, выпускаемых промышленностью в Советском Союзе и те из выпускаемых в Англии, которые наиболее распространены в других странах [24].

Аппаратура для просмотра и измерений

После облучения фотослоев в условиях, определенных экспериментатором, и их проявления и фиксирования следует очень трудоемкая операция микроскопического просмотра для отбора интересующих экспериментатора явлений. Такой просмотр дает или набор отдельных следов заряженных частиц различной природы, или как результат взаимодействия быстрой частицы с ядрами элементов, присутствующих в фотослое, следы эффектов ядерных расщеплений, или рождения новых частиц и античастиц. В зависимости от величины энергии, реализованной при взаимодействии, эти события могут быть очень сложными по числу и природе образовавшихся следов и их пространственному распределению.

Обработка результатов эксперимента будет включать в себя в зависимости от вида наблюдаемых событий измерения: координат событий, длин треков, числа зерен или промежутков между зернами вдоль следов или их ширины и изменения этих параметров по длине треков. Для частиц, не закончивших свой пробег в фотослое, производится измерение угла многократного рассеяния, углы эти тем меньше, чем больше энергия частицы; они могут составлять тысячные доли градуса, и их измерения представляют собой достаточно сложный процесс из-за наличия собственного «шума» приборов, созданных для подобных измерений. Эти данные позволяют определить природу и энергию частиц. Чтобы иметь возможность судить о механизме, ответственном за наблюдаемое явление, необходимо также с хорошей точностью измерить углы между направлением движения излученных частиц и некоторым заданным направлением, чаще всего последним является направление движения действующей (или, как говорят, падающей на мишень) частицы.

Если при рождении метода толстослойных фотопластинок и в первые годы его применения в распоряжении физиков был обычный микроскоп, созданный для универсальных целей и лишь снабженный бинокулярной насадкой, то за прошедшие два десятилетия как в других странах, так и в Советском Союзе проведена значительная работа по созданию изме-

рительных микроскопов для ядерных исследований с помощью фотометода. Отметим некоторые из приборов, созданных в последние годы.

Полуавтоматический микроскоп МИГЭ-2 [25]. Создан для измерения координат вдоль точек следа частицы в фотослое с целью определения по соответствующим формулам аналитической геометрии длин и углов — основных параметров, необходимых при анализе наблюдаемого явления. Сигналы датчиков преобразуются в код с записью на перфоленту для ввода в электронно-вычислительную машину по заданной программе. Общее увеличение оптической системы микроскопа для визуального наблюдения составляет от 231 до 2632. Комплект объективов позволяет вести измерения в эмульсионных слоях толщиной до 0.55 мм. На предметном столике можно поместить и просматривать препараты размером 120×220 мм. Использование такой установки при измерениях в фотослоях увеличивает производительность труда примерно в 20 раз по сравнению с использованием микроскопа МБИ-9.

Полуавтоматический микроскоп МИРЭ-2 [26]. Применяют для измерения среднего угла кулоновского рассеяния следов заряженных частиц в ядерных фотоэмульсиях. При измерении используется координатный способ. Испытания микроскопа в ФТИ им. А. Ф. Иоффе АН СССР показали, что производительность труда при измерениях среднего угла многократного рассеяния увеличивается примерно в 10—15 раз. Такое повышение достигается за счет автоматизации считывания и записи координаты y . Результаты измерения обрабатываются на ЭВМ.

Универсальный полуавтоматический микроскоп МПЭ-1. Создан для измерения параметров следов заряженных частиц в ядерных фотоэмульсиях. Это устройство готовится к выпуску и, согласно описанию авторов конструкции (Р. М. Рагузин, В. М. Ракитин, Н. М. Федорова), «оно состоит из микроскопа с комплектом сменных предметных столиков и блока записи координат следов заряженных частиц в ядерных фотоэмульсиях. Прибор позволяет производить ручной просмотр по площади и по следу, полуавтоматическое измерение геометрических параметров, среднего угла многократного рассеяния и ионизационных параметров». Следовательно, этот новый прибор позволит проводить все измерения в фотослоях, необходимые для анализа зарегистрированных в нем событий.

В некоторых лабораториях в Советском Союзе [27] и в других странах [28] разработаны и применяются для измерения в фотослоях иные, чем вышеприведенные, устройства. Однако они являются обычно единственными экземплярами, промышленностью не выпускаются, и поэтому мы их здесь не рассматриваем.

О перспективах развития фотометода

Как упоминалось ранее, толстослойные фотопластинки могут быть употреблены в эксперименте или как мишень, если рассматривается взаимодействие с элементами, составляющими фотослой или введенными в него, или как только детектор заряженных частиц, идущих от внешней по отношению к фотопластинке мишени. При анализе явлений можно с некоторой вероятностью по ряду признаков отделить взаимодействия, происшедшие на тяжелой компоненте фотослоя (Ag и Br), от явлений на легкой (H, C, W, O). Сложность элементарного состава фотослоя, естественно, является существенным недостатком метода.

К настоящему времени получили большое распространение и другие приборы:

1) пузырьковые камеры, наполненные жидкостями простого или сравнительного простого состава (жидкий водород, жидкий аргон, пропан); для пузырьковых камер, являющихся также трековыми приборами

и, следовательно, дающими хорошую наглядность события, разработаны и достаточно современные системы снятия и обработки информации с переносимых для окончательного анализа на ЭВМ;

2) искровые камеры; прибор трековый; взаимодействие может быть ограничено определенными элементами, из которых сделаны электроды;

3) магнитные спектрометры и полупроводниковые детекторы, совмещенные с современными многоканальными анализаторами и вычислительными устройствами.

Перечисленные приборы и устройства, естественно, ограничивают применение фотометода, а в ряде экспериментов полностью вытесняют его.

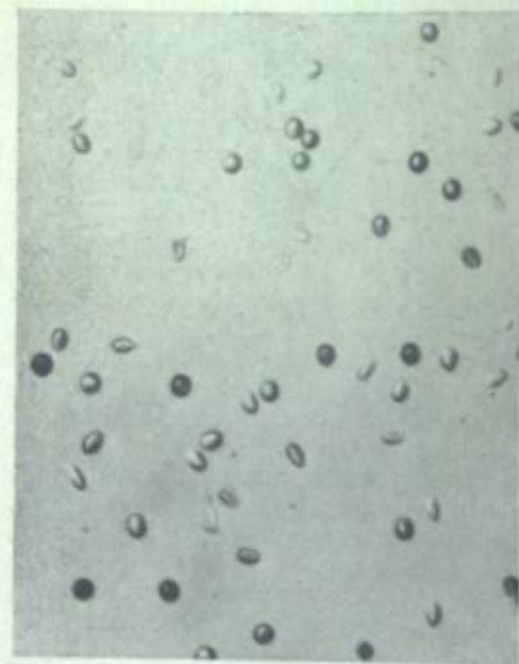


Рис. 7. Микрофотография следов осколков деления, зарегистрированных с помощью стекла.

В последние годы для детектирования сильно ионизирующих излучений используют слюду, стекло и некоторые пластики (майлар, нитроцеллюлоза и др.). Оказывается, что ион большой энергии, попадая на слюду, стекло или пластик, способен разрушить вещество вблизи своей траектории. Если затем обращенную к излучению поверхность обработать подходящим реактивом (например, в течение 20 мин. действовать на стекло раствором 2–3%-го HF), то в микроскопе даже при небольшом увеличении мы увидим хорошо заметное углубление в месте попадания иона (рис. 7).

При избранных условиях обработки и типе вышеуказанных детекторов появление видимого следа частицы и его форма зависят от величины удельных потерь энергии. Эта особенность подобных детекторов дает возможность достаточно просто идентифицировать излучения по природе частиц, его составляющих. Например, отделять фрагменты с большим z и большими удельными потерями без заметного фона от любого множества других частиц, присутствующих в пучке, с меньшими удельными потерями. Такие пороговые детекторы позволяют изучать явления с очень малой вероятностью их появления на фоне событий, идущих совместно с ними с большой вероятностью.

Возникает вопрос о перспективности фотометода, о его месте среди других методов при исследовании ядерных процессов в современных условиях, в особенности в области ядерной физики высоких энергий. С большой уверенностью можно предположить, что и в современных условиях фотометод не потеряет своего значения при решении ряда конкретных задач из области ядерной физики, и в особенности ядерной физики высоких энергий. Так, на последней конференции [29–31] по фотометоду и его применению (Флоренция, июль 1966 г.) несколько докладов было посвящено перечисленным тем, которые и в будущем будут с большим успехом, чем каким-либо иным методом, решаться с помощью фотометода. В качестве примеров приведем некоторые из них.

1. Фотометод и в дальнейшем будет использоваться при поисках новых частиц, возникающих в процессах взаимодействия частиц высоких энергий с ядрами. Имеются в виду, например, новые резонансы, кварки, если чувствительность фотоэмульсий будет значительно повышена; поиски дираковского монополя в тех взаимодействиях, где энергия достаточна для его рождения.

2. Исследование ядерных реакций с излучением множества частиц, продуктов ядерного расщепления и возникших в процессе взаимодействия.

3. Изучение $p-p$, $p-D$ рассеяния методом ядер отдачи.

4. Явления множественной фрагментации.

5. Взаимодействие антиядер с веществом при наблюдении процесса их аннигиляции.

6. Исследование периферических ядерных взаимодействий, в которых переданная ядру энергия невелика.

При изучении природы космических лучей, их взаимодействия с веществом, излучений, заполняющих околоземное пространство, фотометод и в будущем, вероятно, долго не потеряет своего значения.

Кроме того, надо отметить, что пузырьковые камеры, сложные экспериментальные электронные устройства очень дороги и недоступны многим, сравнительно небольшим научным коллективам. В таких условиях фотометод может оказаться единственным, с помощью которого можно вести исследования, пусть с несколько большей затратой времени на поиски событий и анализ результатов. Можно заметить также, что если в ядерной физике область применения фотометода несколько сузилась, то он получил большое распространение в других областях, например в биологии, геологии и медицине.

Кратко отметим некоторые возможности дальнейшего улучшения фотоэмульсий, их регистрационных свойств, состава и способов анализа.

I. Существующий набор различных типов фотоэмульсий, выпускаемых промышленностью, пока совершенно не удовлетворяет всем запросам экспериментаторов. Чтобы иметь возможность использовать в опытах фотослой как мишень, необходимо готовить и выпускать в необходимых количествах фотослой, наполненные теми элементами, с которыми изучается взаимодействие. Так, например, в Радиовом институте [32] в целях изучения процесса и механизма деления ядер под действием частиц самых различных энергий разработаны методы введения в фотослой в значительных количествах свинца (до 25 вес. %), вольфрама (до 40 вес. %) и висмута. С помощью фотопластинок, наполненных указанными элементами, выполнены некоторые работы по изучению механизма деления ядер при высоких энергиях возбуждения. Нашей промышленностью, к сожалению, производство таких слоев не освоено.

II. Вероятно, еще не все возможности исчерпаны по созданию фотослоев с лучшей, чем уже достигнутой, разрешающей (дискриминирующей) способностью фотоэмульсий по отношению к частицам различной природы. В этом направлении не используются в должной мере фотослой из смеси эмульсий различных типов.

III. В Радиовом институте велись исследования с целью создания фотоэмульсий, прозрачных к видимому свету, но чувствительных к ионизирующим частицам. Такие эмульсии должны иметь зерна, имеющие размеры, меньшие длины волны видимого света. Вероятно, если бы создать эмульсию с хорошей чувствительностью к заряженным частицам с наиболее вероятным размером зерен (0.02–0.04 мк), то фотослой из подобной эмульсии удовлетворяли бы поставленной цели. Такие фотослой можно было бы просматривать непосредственно после проявления без устранения неэкспонированного бромида серебра фиксированием в гипосульфите и, следовательно, без деформации слоя по координате z . Правда,

для таких фотослоев требуется найти способ увеличения проявленного зерна до его хорошей видимости в оптический микроскоп.

Полученные в Радиовом институте данные показывают [20], что фотослой с толщиной 100 мк из эмульсии с размером зерна 0.06 мк допускают их просмотр и получение микрофотографий без фиксирования после проявления (рис. 8 и 9).

IV. Партии фотоэмульсий для ядерных исследований, выпускаемые промышленностью, еще недостаточно стандартны. В этом направлении следует вести изыскания по созданию технологического процесса, допускающего хороший физический контроль, типа потенциометрического



Рис. 8. Микрофотография следов α -частиц, полученная с неотфиксированного фотослоя [20].

контроля процесса эмульсификации [20], как это делается при изготовлении эмульсий П-9 и ПР.

V. Для получения устойчивых по свойствам фотоэмульсий следует, вероятно, готовить их не на природной желатине, сложной по своему составу и сильно влияющей на свойства эмульсии, а на подходящем искусственно синтезированном веществе, которое имело бы более простой состав по входящим в него элементам. В Радиовом институте в этом направлении ведутся исследования [33].

VI. Перспективным в фотометоде является применение сильных магнитных и электрических полей. Применение импульсных магнитных полей напряженностью 250—300 кэ позволит с большей точностью, чем это достигается при измерении угла многократного рассеяния, определить энергию очень быстрых частиц, не закончивших пробег в фотослое, по измерениям кривизны их траекторий (следов).* С помощью сильных электрических полей, как это следует пока из небольшого числа опытов [35], можно влиять на чувствительность регистрации частиц в момент их тор-

* В настоящее время применяются импульсные магнитные поля напряженностью до 200 кэ [34].

можения в фотослое. Дальнейшие исследования в этом направлении, вероятно, могут указать некоторые возможности управления процессом детектирования, что явилось бы большим достижением при применении фотометода.

VII. В ряде экспериментов фотослой как детекторы излучений должны находиться при температуре, близкой к абсолютному нулю [36—38]. В этих условиях их чувствительность обычно сильно понижается, но для разных сортов эмульсий по-разному. По-видимому, и в этом направлении надо вести изыскания с целью создания фотослоев, наилучшим образом приспособленных к регистрации корпускулярных излучений при низкой температуре.

Что хотелось бы отметить в заключение? В одной из статей по физике высоких энергий автор [39] делит время с момента открытия радиоактивности до наших дней на три эры: *древняя эра* — с 1895 по 1947 г., *новая эра* — с 1947 по 1961 г. и *новейшая эра* — с 1961 г. по сей день. Условно приняв такое разделение, можно сказать, что если в конце древней эры фотометод как инструмент физика-экспериментатора был преобладающим в ряде исследований, а в новую эру оставался одним из ведущих, то надо полагать, что и в новейшую эру ряд задач ядерной физики, не только упомянутых в сообщении, но и многих других, будет успешно решаться с помощью фотометода.

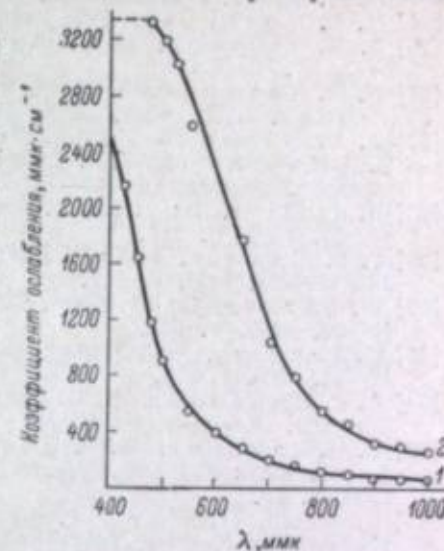


Рис. 9. Значения коэффициента ослабления света слоями эмульсий с толщиной слоя и размерами кристаллов 0.08 мк (1) и 0.06 мк (2).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. Пауэлл, П. Фаулер, Д. Перкинс. Исследования элементарных частиц фотографическим методом. ИЛ, М., 1962.
- [2] Н. А. Перфилов, О. В. Ложкин, В. И. Остроумов. Ядерные реакции под действием частиц высоких энергий. Изд. АН СССР, М.—Л., 1962.
- [3] P. Demers. Ionographie, Montreal, 1955.
- [4] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 69.
- [5] H. P. Walmsley, W. Makower, Proc. Phys. Soc., 1914, 26, 261.
- [6] Л. В. Мысовский, П. И. Чижев, Z. Physik, 1927, 44, 408.
- [7] А. П. Жданов, J. Phys. ed Rad., 1935, 6, 233.
- [8] А. П. Жданов, Изв. АН СССР, сер. физ., 1940, 4, 266.
- [9] И. И. Гуревич, А. П. Жданов, А. Н. Филиппов, ЖЭТФ, 1938, 8, 624.
- [10] Л. В. Мысовский, А. П. Жданов, ДАН СССР, 1930, 25, 9.
- [11] Н. А. Перфилов, ДАН СССР, 1940, 28, 425.
- [12] А. П. Жданов, Изв. АН СССР, сер. физ., 1940, 4, 266.
- [13] А. П. Жданов, Н. А. Перфилов, М. Ю. Мысовская, Phys. Rev., 1944, 65, 202.
- [14] Н. А. Перфилов, ЖЭТФ, 1946, 16, 285.
- [15] S. M. Lattes, H. Muirhead, G. P. Occhialini, C. F. Powell, Nature, 1947, 159, 694.
- [16] R. W. Berriman. Nature, 1948, 162, 432; 1948, 132, 922.
- [17] C. Waller, Z. wiss. Phot., 1955, 5, 434.
- [18] К. С. Богомолов, А. А. Сиротская, М. Ю. Дебердеев, В. М. Уварова, Тр. НИКФИ, 1957, 11, 73.
- [19] Д. М. Самойлович. Автореф. докт. дисс. РИАН, Л., 1956.
- [20] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, Е. И. Прокофьева, Ат. энерг., 1958, 4, 45.

- [21] В. Л. Зеллиман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 379
- [22] H. Jagoda, Rev. Sci. Instr., 1955, 26, 263.
- [23] П. А. Горичев, О. В. Ложкин, Н. А. Перфилов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 83.
- [24] Н. Р. Новикова, Усп. научн. фотогр., 1966, XI, 217.
- [25] Р. М. Рагузин, Н. В. Шарыгин, Н. М. Федорова, ПТЭ, 1966, № 2, 51.
- [26] Н. М. Долинский, Р. М. Рагузин, Н. В. Шарыгин, Н. М. Федорова, ПТЭ, 1966, № 4, 51.
- [27] А. Е. Воронков, Г. Е. Беловицкий, Л. Н. Колесникова, В. С. Маренков, Л. В. Сухов, в сб.: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 196.
- [28] B. Stille, in: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 175.
- [29] Г. Б. Жданов, в сб.: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 151.
- [30] W. Barkas, in: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 339.
- [31] M. Sharigo, in: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 315.
- [32] В. С. Бмченков, В. И. Захаров, Н. Р. Новикова, Н. А. Перфилов, Ядерная фотография. Тр. Третьего межд. совещ., М., июль, 1960.
- [33] В. И. Захаров, Н. Р. Новикова, Н. А. Перфилов, Е. В. Фадина, в сб.: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 63.
- [34] R. Brou, M. Flard, J. Vermond, in: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 164.
- [35] V. Labau, M. Nicolae, in: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19—23, 1966, p. 105.
- [36] В. А. Беляков, Л. Г. Козлова, В. А. Свиридов, К. Д. Толстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 427.
- [37] В. И. Матвиенко, А. Л. Картужанский, Г. Г. Мартыш, Т. М. Трегубова, Л. И. Шур, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 69.
- [38] А. Л. Картужанский, В. И. Матвиенко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 217.
- [39] В. М. Мальцев, Физика высоких энергий, стр. 93, изд. «Знание», М., 1967.

К. С. БОГОМОЛОВ

ПРИРОДА ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Проблеме природы фотографического действия ионизирующих излучений в Советском Союзе было посвящено много исследований, некоторые из них имели фундаментальное значение для достижения современного уровня знаний в этой области. Предпосылками этого явились сильное развитие в Советском Союзе физики атомного ядра и необходимость широкого внедрения фотографического метода — на основе создания отечественных фотоматериалов — для регистрации следов заряженных частиц. Знания механизма радиографического процесса требовались не только для рациональной разработки фотоматериалов, но и для сознательного использования таких материалов в качестве физического прибора. Это относится к применению фотометода в ядерной физике и исследованиях космических лучей, а также в микрорадиографии, в различных электронографических процессах. В настоящее время, несмотря на значительное развитие техники нефотографических методов регистрации ионизирующих излучений, фотометод у нас переживает подъем в связи с пуском мощного ускорителя в Серпухове, где имеются весьма благоприятные условия для применения фотометода, а также в связи с постановкой новых задач в исследованиях космических лучей.

Создание отечественных радиографических материалов

Обращаясь к истории отечественной радиографии, укажем, что в довоенный период существования советской фотопромышленности единственными распространенными радиографическими материалами были рентгеновские пленки. Лишь малую часть этих пленок применяли в собственно радиографическом процессе, т. е. без люминесцирующих усиливающих экранов. В этих ранних разработках участвовал А. И. Кондахчан, автор настоящего обзора и Г. А. Жегалкин, разработавший методику рентгеносенситометрии, применяемую до сих пор. Тогда из специалистов по фотоэмульсиям редко кто знал о выдающемся для того времени открытии Л. В. Мысовским и П. И. Чижовым [1] возможностей метода ядерных эмульсий. Затем А. П. Ждановым [2, 3] были разработаны и применены на практике эмульсии, регистрирующие следы протонов. В те годы за рубежом были также осуществлены отдельные редкие исследования в этой области, из которых заслуживает упоминания фиксирование следов протонов отдачи при действии нейтронов [4]. В последующие предвоенные годы и во время войны за рубежом было сделано очень мало по исследованию механизма действия ионизирующих излучений и природы чувствительности фотоматериалов к этим излучениям.

Неясным являлся вопрос о влиянии на чувствительность к заряженным частицам химического созревания и вообще тех факторов, которые обуславливают чувствительность эмульсии к актиничному свету. И в последующее время здесь наблюдался ряд противоречивых результатов. Количественные закономерности радиографического процесса были малоизучены, поскольку они не опирались на знания качественной стороны проблемы. Например, де Ланг [5] вывел формулу характеристической кривой из ошибочного допущения, что один поглощенный квант рентгеновского излучения приводит к образованию одного проявленного зерна рентгеновской пленки. Ряд таких работ представлял в то время безусловный интерес, но в результате прогресса послевоенной радиографической науки многие из этих работ к настоящему времени устарели.

Уже в 1944 г. Н. А. Перфилов с сотрудниками исследовали такие «тонкие» вопросы ядерной фотографии, как дискриминация частиц различных масс и зарядов. Методы дискриминации, основанных на применении фотопроцессов с десенсибилизацией, фотографическим ослаблением и др. В традициях Радиового института было сочетание «эмульсионных» исследований с практическим применением этих исследований для решения конкретных физических задач [6—9].

Некоторые зарубежные физики, обратив внимание на успехи А. П. Жданова, добились того, что разработка методов получения ядерных эмульсий была поручена английской фирме «Ильфорд» (1939 г.), а также фирмам «Агфа» (Германия) и «Истман-Кодак» (США). Однако эти работы велись медленно, и к 1945 г. фирме «Ильфорд» удалось получить высококонцентрированные эмульсии, но с неудовлетворительными фотографическими свойствами. Существенное расширение поисков ядерных эмульсий в Англии было достигнуто под руководством специальной комиссии при Министерстве снабжения, организованной с участием Чадвика и Поуэлла. Спустя три года, в нашей стране аналогичная роль инициаторов и организаторов широкого фронта работ в области ядерных эмульсий принадлежала президенту Академии наук академику С. И. Вавилову и члену-корреспонденту АН СССР И. М. Франку. В это время рядом групп советских ученых и специалистов, возглавляемых А. П. Ждановым, Н. А. Перфиловым, Д. М. Самойлович [10], были разработаны лабораторные образцы фотопластинок, которые уже использовались для ядерных исследований, в частности протонов и мезонов нерелятивистских энергий.

Разработка фотоэмульсий для ядерных исследований в нашей лаборатории началась в 1949 г. До организации лаборатории нами велись поисковые работы, в результате которых при участии А. А. Сиротинской были получены впервые в Союзе фотопластинки, регистрирующие следы электронов средних энергий. Затем была создана база для производственного выпуска фотопластинок для ядерных исследований, руководимая М. Ю. Дебердеевым. Фотопластинки выпускались с 1952 г. В 1950 г. нами были получены впервые в Советском Союзе фотопластинки, чувствительные к частицам минимальной ионизации [11]. Пластинки такой чувствительности были ранее изготовлены Берриманом [12] в лаборатории Кодак—Хэрроу (Англия) и вскоре были освоены фирмами «Кодак» и «Ильфорд». Нами они были освоены в 1953 г. Следующим решающим этапом разработки фотоматериалов, предназначенных для проведения исследований широкого масштаба в области физики высоких энергий, было создание бесподложечных слоев ядерной эмульсии. Объем информации, заключенный в применявшихся до сих пор эмульсионных камерах объемом, например в 30, 50 и даже 160 дц³, конечно, колоссален. Переход от пластинок к таким слоям представлял значительные технологические трудности и потребовал нескольких лет работы. К моменту осуществления этой задачи фирмой «Ильфорд» в 1953 г. наше отставание оценивалось

в 2—3 года. Начиная с 1955—1956 гг. ассортимент и качество советских и английских фотоматериалов для ядерных исследований в среднем можно было считать равноценными. Фирма «Ильфорд» до сих пор является практически единственным зарубежным изготовителем фотоматериалов для ядерных исследователей. Отдельные типы таких фотоматериалов изготавливаются в небольших количествах в Японии, ГДР, США и Бельгии [13].

В настоящее время в Советском Союзе (институт Госнихимфотопроект) выпускаются фотоматериалы для исследований в области физики высоких энергий с различными размерами микрокристаллов (0.14, 0.20 и 0.28 мкм) с различной толщиной эмульсионного слоя — до 1200 мк. Выпускаются также комплекты материалов различной чувствительности для исследования спектров масс и зарядов частиц. Высокочувствительные, особо мелкозернистые эмульсии изготавливаются также в лаборатории Н. А. Перфилова [14]. Подробный обзор по ядерным эмульсиям опубликован Н. Р. Новиковой [15].

Механизм радиографического процесса

Повышенный интерес к поискам ядерных эмульсий, как уже было упомянуто выше, создал благоприятные условия для исследования механизма фотографического действия ионизирующих частиц. К этому надо добавить усиление с 1956 г. международных контактов специалистов по ядерной фотографии. Общие научные интересы в этой области привели к организации серии из шести международных конференций по ядерной фотографии. Вопросы природы радиографического процесса широко обсуждались на этих конференциях, и многие дискуссии способствовали выработке единого мнения по спорным вопросам, а также постановке некоторых интересных экспериментов.

В настоящем обзоре мы не сочли возможным охватить всю совокупность исследований в данной области. Задачей обзора является описание современного представления о механизме процессов, а также история вопроса и основные достижения отечественной науки в этом направлении.

Процесс образования скрытого радиографического изображения, взятый в целом, мы предложили в свое время разделить на отдельные процессы — первичные и вторичные.

Первичными процессами мы называем непосредственное взаимодействие первичных и вторичных ионизирующих излучений с веществом в фотоэмульсионном слое до образования в результате этих взаимодействий электронов проводимости.

Вторичными процессами можно назвать все последующие процессы образования скрытого изображения.

Упомянутые первичные процессы, разумеется, качественно отличны от внутреннего фотоэлектронного эффекта, протекающего при действии света, в галогениде серебра. Следующие из этого количественные различия, в частности распределение центров скрытого изображения по размерам, по пространственному расположению и т. д., выявляются в стадии вторичных процессов в скрытой форме. При последующей фотографической обработке специфика первичных радиографических процессов уже выявляется в образовании следов частиц различного характера, а также в кинетике проявления этих следов. На этом основано замечательное свойство фотографических эмульсий — дискриминация следов частиц с различной ионизирующей способностью, определяемой скоростью и зарядом частицы. Это дает возможность определить с применением некоторых дополнительных данных, выявляемых в той же эмульсии, энергию, массу и заряд частицы.

Естественно, что большинство научных исследований природы фотографического действия ионизирующих частиц относится к области исследования тех свойств скрытого изображения, а также условий его образования, которые и обуславливают в конечном счете характеристики следов заряженных частиц.

Не столь много работ посвящено установлению качественных основных положений и количественных закономерностей фотографического действия ионизирующих излучений.

В самом начале работы в этой области мы считали первоочередной задачей установление тех стадий радиографического процесса, которые укладываются в рамки общей теории образования скрытого изображения, связанной с именами Герни и Мотта. Для этого было необходимо прежде всего выяснить, идентичны ли в качественном отношении вторичные процессы образования скрытого изображения для света и ионизирующих излучений.

Для этой цели было проведено параллельное исследование действия инфракрасного излучения на скрытые изображения, полученные действием света и рентгеновых лучей при обычных (20°C) и низких (-186°C) температурах [16]. Аналогичные опыты были ранее проведены и интерпретированы Уэббом и Эвансом [17], но только для видимого света. В результате наших опытов было установлено идентичное поведение обоих видов скрытых изображений в следующих условиях:

а) 20° , 20° (вторая температура — при действии инфракрасных лучей); нормальный эффект Гершеля;

б) 20° , -186° , ион Ag^+ после ухода электрона остается в решетке, и электрон возвращается; таким образом, эффект Гершеля (в смысле разрушения скрытого изображения) не наблюдается;

в) -186° , -186° ; образуется электронное скрытое изображение, ионы Ag^+ неподвижны; инфракрасное излучение разрушает электронное скрытое изображение;

г) -186° , промежуточное нагревание, -186° , при нагревании электронное изображение переходит в серебряное; как и в случае б) оно не дает эффекта Гершеля при низкой температуре.

Результаты проведенного исследования являются доказательством того, что при действии ионизирующих излучений начиная с момента образования электронов проводимости все последующие стадии образования скрытого изображения качественно идентичны с соответствующими стадиями образования «светового» скрытого изображения.

Факт образования электронов проводимости в крупных кристаллах галогенидов серебра при действии ионизирующих излучений был показан исследователями кристаллических счетчиков. Впервые этот результат получил Ван Хеерден [18]. Как известно, энергетические затраты ионизирующих излучений на образование электронов проводимости превышают световую энергию, затрачиваемую на это, в 2—3 раза. Однако следует учитывать, что в условиях сильного облучения крупных кристаллов возможность рекомбинации больше, чем при обычной экспозиции фотографического материала.

Нам теперь хорошо известно, что химическая сенсibilизация и химическое созревание — наиболее существенные факторы, определяющие чувствительность микрокристаллов эмульсии не только к свету, но и к действию ионизирующих излучений. Это было наиболее отчетливо показано в работе [19]. Иначе не может быть, поскольку вторичные процессы образования скрытого изображения для обоих видов излучений качественно идентичны.

Однако в течение долгого периода времени роль химического созревания в механизме чувствительности эмульсионных микрокристаллов

к ионизирующим излучениям подвергалась сомнениям некоторыми авторами [20, 21]. Это объяснялось различными причинами и прежде всего несовершенством методов изготовления фотоэмульсии. Химическое созревание происходит частично в скрытом виде в стадиях, предшествующих технической операции второго созревания; известно много примеров того, что к началу второго созревания уже почти достигается оптимум созревания. Это вообще характерно для весьма мелкозернистых эмульсий.

Поведение ядерных эмульсий иногда бывает необычным, что обусловлено спецификой процесса их изготовления. Например, 60-ти часовое созревание эмульсии типа Р (вместо 3—4 час.) не увеличило существенно вуали [22, 23].

Другая, объективная причина недоразумений при оценке роли химического созревания состоит в том, что чувствительность к ионизирующим излучениям в этом процессе, особенно в конечной его стадии, возрастает слабее, чем светочувствительность. Это объясняется тем, что средние затраты энергии заряженных частиц в микрокристаллах эмульсии, как правило, высоки и достаточно высокая чувствительность к ионизирующим излучениям может достигаться при меньшей степени созревания, чем при действии света. Особенно это относится к действию сильно ионизирующих частиц и к мягкому рентгеновскому излучению, которое раньше часто применяли в исследованиях.

Существует до сих пор мнение, что при действии весьма сильно ионизирующих частиц центры чувствительности возникают в результате самого действия таких частиц. В частности, Д. М. Самойлович [24] утверждает, что α -частицы природных радиоактивных веществ разрушают кристаллическую решетку и создают места закрепления электронов. Эмульсии, предназначенные для регистрации α -частиц, не нуждаются, таким образом, в химическом созревании. С другой стороны, существуют эмульсии, регистрирующие следы осколков деления и не регистрирующие следы α -частиц [13].

Характер механизма вторичных процессов образования скрытого изображения показывает, что химические сенсibilизаторы, влияющие на ход этих процессов, могут являться сенсibilизаторами и фотографического действия ионизирующих излучений. Это находится в соответствии с общеизвестной практикой сенсibilизации ядерных эмульсий роданидом золота, триэтанолламином и другими химическими сенсibilизаторами.

Химизмом сенсibilизации ионом золота много занимались И. А. Новиков [25], Я. М. Веприк [26] и другие, а физической стороной этого процесса — К. С. Богомолов [27].

Не меньшее внимание было уделено и исследованию механизма сенсibilизации триэтанолламином, однако общего мнения по этому вопросу выработать не удалось.

Значительный интерес должен представлять механизм сенсibilизации ядерных эмульсий некоторыми кристаллами, в частности аминотирилами [28, 29].

Некоторые предположения о восстановительной способности сравниваемых веществ были сделаны Ждановым, Картужанским и Шур [30].

Если попытаться обобщить элементы физического механизма сенсibilизации столь различными веществами, то такое обобщение сведется к следующему. Действие сенсibilизаторов проявляется во вторичных процессах образования скрытого изображения. Следует предположить, что такие сенсibilизаторы в принципе эффективны и в случае кратковременного действия света, и если это так, то можно считать, что указанные вещества удерживают захваченные электроны проводимости в течение времени, превышающего период теплового рассасывания скрытого изоб-

ражения, в электронной его стадии. Это равносильно удлинению времени t экспозиции (в сторону оптимального значения).

Выпрямление левой стороны изоопак (при малых значениях t) характерно для сенсibilизаторов-красителей. Триэтанолламин смещает изоопак вниз, однако и в этой области данный эффект внешне как бы прекращается более сильным смещением правой части кривой. Эти оба эффекта, очевидно, независимы.

Наличие некоторых общих свойств у указанных выше сенсibilизаторов не является ни в какой мере доказательством одинакового механизма сенсibilизации. В частности, механизм замедления образования скрытого изображения может быть различным. В случае сенсibilизации золотом мы предполагали, что сенсibilизирующий эффект объясняется повышенной электростатической емкостью смешанных золото-серебряных центров [27]. В случае сенсibilизации красителями можно предполагать наличие электронных состояний со значительной продолжительностью жизни, в частности у красителей, склонных к образованию полимеров с триплетным состоянием электронов ($\tau \sim 10^{-2}$ сек.). Ответ на подобные предположения можно было бы получить с применением относительно трудно доступной методики исследования электронного парамагнитного резонанса.

Количественные закономерности

Чувствительность фотографического слоя к ионизирующим излучениям может быть выражена либо плотностью зерен в следах частиц с заданной ионизирующей способностью, либо соотношением оптической плотности проявленного изображения и потока частиц заданной ионизации при облучении до достижения данной плотности изображения [31—35].

Разработка новых фотоматериалов и фотопроцессов облегчается тем, что можно варьировать различные параметры: концентрацию галогенида серебра, размеры микрокристаллов, степень созревания эмульсии, степень проявления материала. Оказывается, что при полном проявлении эмульсионных слоев существуют объективные, неуправляемые количественные закономерности, связывающие чувствительность к заряженным частицам средней и малой ионизации с концентрацией галогенида серебра, размерами микрокристаллов эмульсии, степенью созревания (в некоторых пределах) и с ионизирующей способностью частиц.

В случае регистрации следов слабо ионизирующих частиц в высокочувствительных ядерных эмульсиях существуют следующие закономерности.

Относительная плотность следов частиц определяется вероятностью приобретения микрокристаллом способности к проявлению при попадании заряженной частицы:

$$\varphi = \frac{n}{n_0}, \quad (1)$$

где n — абсолютная плотность проявленного следа, выражаемая обычно числом зерен на 100 ммк; n_0 — число микрокристаллов, встреченных частицей на том же отрезке пробега.

n_0 связано в первом приближении с геометрическими параметрами эмульсионного слоя известной формулой А. П. Жданова [2]:

$$n_0 = \frac{c\rho}{8.63r} \Delta x, \quad (2)$$

где c — концентрация галогенида серебра в слое (обычно высокая); ρ — плотность сухой эмульсии; r — усредненный радиус микрокристалла; Δx — заданный отрезок пробега частицы.

Частота w_r фотографически эффективных актов первичной ионизации в одном микрокристалле для частиц с минимальной ионизирующей способностью равна [34, 35]:

$$w_r = 0.372 \left(1 - \frac{b}{r} + \frac{b^2}{3r^2} \right), \quad (3)$$

где $b=0.078$ ммк — толщина околоповерхностного фотографически эффективного слоя микрокристалла [36].

Для частиц с ионизирующей способностью, равной $\Delta E/\Delta E_r$ (по отношению к релятивистскому минимуму):

$$w = w_r \frac{\tau \Delta E}{\Delta E_r}. \quad (4)$$

Зависимость $\varphi(w)$ для эмульсий различной чувствительности была изучена экспериментально и теоретически [32]. Укажем один характерный случай, относящийся к эмульсиям, все микрокристаллы которых чувствительны к одному акту первичной ионизации с частотой w . С учетом вероятности двойных и более событий в одном и том же микрокристалле имеем

$$\varphi = 1 - e^{-w}. \quad (5)$$

В задачу настоящего сообщения не входит повторение опубликованных ранее работ по вопросам закономерностей образования следов заряженных частиц. С другой стороны, по-видимому, представляет интерес привести соответствующие закономерности для фоновых почернений, образуемых ионизирующими излучениями на фотоматериалах широкого назначения.

В результате исследований работы выявилось, что количественные соотношения, существующие в этой области, несложны и могут служить различным целям. Эти соотношения действительны для любых материалов типа негативных со сферической формой эмульсионных микрокристаллов.

Для полностью проявленных фотографических изображений, образованных действием заряженных частиц [34]:

$$N_e = \frac{0.11}{r^2}, \quad (6)$$

где N_e — число проявленных микрокристаллов на 1 см², образующих плотность почернения, равную единице.

В данном случае r также обозначает средний радиус непроявленного микрокристалла.

Приведенных выше простых формул достаточно, чтобы вывести для эмульсионного слоя с толщиной Δ соотношение

$$D = 1.05 M r \varphi N \quad (7)$$

для участка линейной зависимости $D(N)$, т. е. для не слишком больших плотностей изображения (N — число проявленных частиц на 1 см²; $M = \Delta c \rho$ — масса галогенида серебра на 1 см²).

Формула (7) удовлетворяет экспериментальным данным [37] и может применяться для прогнозов поведения фотоматериалов в различной радиационной обстановке без ее экспериментального моделирования. Такое вычисление было, например, однажды применено для доказательства радиационной безопасности фотографирования обратной стороны Луны [38].

При выводе приведенных выше закономерностей, в частности, принималось допущение, что флюктуации энергии ионизации превышают флюктуации чувствительности эмульсионных микрокристаллов. Полученные результаты это подтверждают.

Другие результаты были получены в работах И. М. Кукса [39—41], который поставил и провел весьма интересный эксперимент облучения медленными электронами почти безжелатинового препарата эмульсионных микрокристаллов. Энергия электронов (50—1200 эв) была по порядку величины близка к порогам чувствительности кристаллов ядерных эмульсий. И. М. Кукс нашел, что порог чувствительности к электронам составляет 170 эв, но для большей части микрокристаллов он выше. Разумеется, безжелатиновый препарат не обладает собственной чувствительностью, соответствующей высокочувствительной эмульсии типа P-2. Вычисленный нами порог чувствительности эмульсии P-2 равен 80 эв, но надо учитывать, что пороговое значение затраченной частицы энергии сильно отличается от среднего значения затраченной энергии. Так, на 100 мк пути в эмульсии релятивистская частица затрачивает в бромиде серебра 26 кэв, образуя до 47 проявленных зерен, т. е. фактическая затрата энергии, в том числе 21—24 кэв, приходится на сильно флюктуирующую компоненту высоких передаваемых энергий. Таким образом, фактическая затрата энергии частицы на один проявляемый микрокристалл составляет 0.45—0.5 кэв [35].

И. М. Кукс указывает, что микрокристаллы одного размера в составе эмульсии являются фотографически тождественными, а наблюдаемая неоднородность их чувствительности связана с вероятностным характером фотографических процессов [41]. Было показано также, что действие нескольких электронов с энергией ϵ менее эффективно, чем действие одного электрона с энергией, соответствующей сумме энергий $\Sigma \epsilon$.

Свойства скрытого изображения

Природа скрытого изображения, образуемого действием ионизирующих излучений, и ионная стадия образования скрытого изображения были подробно исследованы А. Л. Картужанским [42—47]. В этих работах убедительно показано явление перегруппировки скрытого изображения, исследована дисперсность центров скрытого изображения и ее влияние на фотопроцессы, в том числе на проявление. Установлено, что с уменьшением собственной чувствительности эмульсии и с уменьшением ионизирующей способности частиц степень дисперсности возрастает. По сравнению с действием света частицы образуют более дисперсные центры. Чем дисперсность выше, тем меньше скорость проявления. Этот вывод А. Л. Картужанского, казалось бы, противоречит общеизвестной практике недопроявления ядерных эмульсий с целью сохранения следов сильно ионизирующих, например α -частиц, при частичном устранении фона и применения для этих целей проявителей с различным ред-окс потенциалом [48, 49]. Возможно, что это противоречие просто объясняется тем, что в опытах Картужанского сравнивались кинетики проявления не отдельных следов, а интегральных почернений. При равных плотностях почернений, таким образом, один след сильно ионизирующей частицы фактически сравнивался с несколькими отрезками той же длины в следах слабо ионизирующих частиц.

Непосредственное определение размеров центров скрытого изображения было осуществлено Н. П. Кочеровым [50—51] измерением соотношения интенсивностей γ -линий Ag^{108} и Au^{198} . Было установлено, что размер центров увеличивается с ростом ионизирующей способности частиц. Размер центров оказался весьма крупным: $\sim 10^3$ атомов серебра для α -частиц Pu^{239} . Правда, автор считал, что на кристаллах весьма мелкозернистых эмульсий образуется всего один центр скрытого изображения. Между тем методика Хэрлина и Хэмма [52] определения числа центров вызывает сомнения, так как в эксперименте осуществляется необратимое воздействие на скрытое изображение.

А. Л. Картужанский провел исследование регрессии скрытого изображения, показавшее ускорение регрессии с уменьшением центров скрытого изображения. Такая же закономерность была получена при оптическом разрушении скрытого изображения длинноволновым излучением. Значительный интерес представляют опыты Картужанского с достройкой центров скрытого изображения, получаемого действием света высокой интенсивности и заряженных частиц путем дополнительной засветки. Такие центры достраиваются приблизительно до размеров центров скрытого изображения, образуемых действием света при оптимальной продолжительности экспозиции [47].

Вопросы фотографической обработки

Большое число работ посвящено обработке фотослоев для ядерных исследований. Некоторые из них были упомянуты выше в связи с тем, что целью этих работ являлось исследование механизма радиографического процесса. Большинство же работ было направлено на решение сложной технической задачи равномерной обработки толстых эмульсионных слоев. Подробный обзор на эту тему недавно опубликован [53], и еще одна обзорная статья находится в печати. Поэтому мы ограничимся кратким перечислением наиболее значимых работ советских авторов. Наиболее крупным проявочным центром является установка ОИЯИ [54—56]. Ряд исследований по обработке и созданию крупной установки для этой цели осуществлены Д. М. Самойлович и сотр. [57—59]. Подробное исследование процессов фотографической обработки ядерных эмульсий провели В. М. Уварова и Т. И. Крестовникова [60—63]. С участием М. С. Хайкина и Т. И. Крестовниковой был разработан и освоен проявитель с новым проявляющим веществом 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолоном (5), показавший преимущество перед амидоловым проявителем [64, 65]. Исследование всех стадий процессов обработки и выбор оптимальных условий их проведения были выполнены Крестовниковой [66].

Советскими исследователями разработано несколько оригинальных процессов обработки ядерных эмульсий. Наряду с химическим проявлением оказалось возможным применение некоторых процессов, построенных на принципе физического проявления. Инициатива разработки таких процессов принадлежит Я. М. Веприку с соавторами [67, 68]. Веприку принадлежит оригинальная идея «консервирования» изображения после химического проявления, осуществленная на третьем корабле-спутнике [69].

А. Б. Акопова успешно провела исследование возможности ускорения процессов обработки толстых слоев ядерной эмульсии с применением акустических колебаний ультразвукового и звукового диапазона. Было установлено, что продолжительность всех диффузионных процессов, начиная от пропитки проявителем и кончая водной промывкой, может быть сокращена в среднем в четыре раза (чисто химический процесс собственно проявления не ускоряется). Акоповой создана установка, работающая в оптимальных условиях, при частоте 100 гц. Проявленные таким способом слои толщиной 400—1200 мк по качеству несколько превосходят слои, проявленные обычным способом. Проявление производится двусторонним (бесподложечным) методом [70—73].

Недавно в печати появился обзор А. Л. Картужанского на близкую рассмотренную нами тему [74]. В настоящем обзоре мы старались избегать повторений там, где это было возможно. Заключение обоих обзоров по существу совпадает. Отечественное производство фотоматериалов для ядерных исследований, большое число успешно выполненных научных работ, в том числе несколько докторских и много кандидатских диссертаци-

ций, плодотворное участие в международных конференциях, научных совещаниях ОИЯИ и др. свидетельствуют о крупных достижениях советской радиографической науки, которые признаны далеко за пределами Советского Союза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Л. В. Мысовский, П. И. Чижев, Z. Phys., 1927, 44, 408.
[2] А. П. Жданов, J. Phys. et Rad., 1935, 6, 233.
[3] А. П. Жданов, ДАН СССР, 1940, 28, 109.
[4] M. Blau, H. Wambacher, Sitzungsbericht, Wien. Akad., 1934, 141, 617.
[5] H. De Langhe, Z. wiss. Phot., 1935, 34, 175; 1936, 35, 171.
[6] Н. А. Перфилов, ДАН СССР, 1943, 42, 258.
[7] Н. А. Перфилов, ДАН СССР, 1944, 43, 14.
[8] Н. А. Перфилов, ДАН СССР, 1944, 45, 304.
[9] Н. А. Перфилов, ЖЭТФ, 1946, 16, 285.
[10] Д. М. Самойлович. Автореф. докт. дисс. РИАН, Л., 1958.
[11] К. С. Богомолов, А. А. Сиротинская, М. Ю. Дебердеев, В. М. Уварова, Тр. НИКФИ, 1957, вып. 11 (21), 92.
[12] R. W. Bergman, Nature, 1948, 161, 432.
[13] W. H. Barkas, Nuclear Research Emulsions, Acad. Press, N. Y., 1963.
[14] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, В. И. Захаров, Ю. И. Вихрев, Ат. энерг., 1961, 11, 543.
[15] Н. Р. Новикова, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 135.
[16] К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 6.
[17] J. H. Webb, C. H. Evans, J. Opt. Soc. Am., 1938, 28, 249.
[18] P. J. van Haerden, Dissertation, Utrecht, 1945.
[19] К. С. Богомолов, Е. П. Добросердова, В. Н. Жарков, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 19.
[20] J. P. Malinowsky, Z. Phys. Chem., 1955, 204, 276.
[21] A. Miauchi, Phot. Sensitivity, Tokyo, 1956, 1, 113.
[22] К. М. Романовская, К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 53.
[23] К. М. Романовская. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1965.
[24] Д. М. Самойлович, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 28.
[25] И. А. Новиков. Автореф. канд. дисс. КГУ им. В. И. Ульянова-Ленина, Казань, 1959.
[26] Я. М. Веппик, в сб.: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19-23, 1966, p. 149.
[27] К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 376.
[28] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, в сб.: Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 15.
[29] К. С. Богомолов, Р. А. Герштейн и др., в сб.: Совещ. по хим.-технол. вопросам эмульсионной методики, Изд. ОИЯИ, Дубна, 1964, 6.
[30] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 261.
[31] К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 401.
[32] К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 161.
[33] К. С. Богомолов, в сб.: Ver. Coll. Intern. de Photographie Corpusculaire, Strasbourg, Ed. CNRS, Paris, 1958, p. 212.
[34] К. С. Богомолов, в сб.: Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 40.
[35] К. С. Богомолов. Автореф. докт. дисс. МГУ, 1962.
[36] К. С. Богомолов, Е. П. Добросердова, Н. В. Масленникова, К. В. Старини, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 241.
[37] К. С. Богомолов, И. Ф. Разоренова, В. М. Уварова, в сб.: Intern. Cong. Phot. Sci., Tokyo, 1968.
[38] С. М. Антонов, К. С. Богомолов, Н. И. Кириллов, Н. С. Овечкин, В. И. Успенский, Искусственные спутники Земли, 1961, 9, 20.
[39] И. М. Кукс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 458.
[40] А. П. Жданов, И. М. Кукс, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 49, 53.
[41] И. М. Кукс. Автореф. канд. дисс. РИАН, Л., 1968.
[42] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 183.
[43] А. Л. Картужанский, ДАН СССР, 1956, 109, 285.
[44] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 16.
[45] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 221.
[46] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 300.
[47] А. Л. Картужанский, Автореф. докт. дисс. ЛГПИ им. А. И. Герцена, Л., 1966.
[48] Н. П. Кочеров, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 85.
[49] Н. П. Кочеров, Н. А. Перфилов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 416.
[50] Н. П. Кочеров, Н. А. Перфилов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 360.
[51] Н. П. Кочеров. Автореф. канд. дисс. РИАН, Л., 1966.
[52] H. Hoerlin, F. Namt, J. Appl. Phys., 1953, 24, 1514.
[53] К. С. Богомолов, Т. И. Крестовникова, в сб.: VI Intern. Conf. on Corpuscular Photography, Florence, July 19-23, 1966, p. 76.
[54] В. А. Беляков, Л. Г. Козлова, В. А. Свиридов, К. Д. Толстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 427.
[55] Л. Г. Баранова, в сб.: Совещ. по хим.-технол. вопросам эмульсионной методики, Изд. ОИЯИ, Дубна, 1964, стр. 48.
[56] Н. А. Лонина, А. К. Попова, ПТЭ, 1957, № 4, 92.
[57] Д. М. Самойлович, Е. С. Барнинова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 384.
[58] Д. М. Самойлович, В. А. Смирнитский, В. Д. Рябов, в сб.: Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, стр. 260.
[59] Д. М. Самойлович, Е. С. Барнинова, А. А. Власов, Л. П. Юхновская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 56.
[60] В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова, В. А. Мильцева, К. М. Романовская, в сб.: Photographie Corpusculaire, II. Press. Univ. Montreal, 1959, p. 157.
[61] Т. И. Крестовникова, В. М. Уварова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 92.
[62] В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 118.
[63] В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 128.
[64] К. С. Богомолов, Т. И. Крестовникова, М. С. Хайкин, И. И. Левкоев, В. А. Кухтин, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 100.
[65] К. С. Богомолов, Т. И. Крестовникова, М. С. Хайкин, И. И. Левкоев, В. А. Кухтин, в сб.: V Intern. Conf. Nucl. Phot. Geneva, 1965, II, p. V-1.
[66] Т. И. Крестовникова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1968.
[67] Я. М. Веппик, С. П. Процанова, Г. П. Фаерман, ПТЭ, 1959, 21, 128.
[68] Я. М. Веппик, Е. М. Прокофьева, Л. А. Ханниа, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 27.
[69] Я. М. Веппик, Л. В. Курносова, Л. А. Разоренов, К. Д. Толстов, М. И. Фрадкин, В. С. Чукин, Korpuskularphotographie, IV, München, 1963, 635.
[70] А. Б. Аконова, ПТЭ, 1964, № 3, 64, 66.
[71] А. Б. Аконова, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 106.
[72] А. Б. Аконова, Л. В. Медкумян, Х. Б. Пачаджан, А. Г. Сальман, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 110.
[73] А. Б. Аконова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1967.
[74] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 57.

С. В. НАТАНСОН

ОПТИЧЕСКАЯ СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ЭМУЛЬСИЙ *

Задачей данного сообщения является весьма краткое ознакомление (иногда просто упоминание) с работами советских исследователей, посвященными изучению спектральной сенсibilизации фотографических слоев. При этом мы рассмотрим как сам процесс ** или явления, связанные с ним, так и физико-химические свойства красителей, обуславливающие в той или иной мере их сенсibilизирующее действие или определяющие в результате конечный эффект оптической сенсibilизации светочувствительных слоев.

В СССР исследование спектральной сенсibilизации фотографических слоев и свойств сенсibilизирующих красителей практически было начато с момента организации фотохимической промышленности, т. е. в конце 20-х годов.

С начала 30-х годов исследовательские работы проводились в основном в НИКФИ, Институте имени Л. Я. Карпова и в ГОИ.

В институте имени Л. Я. Карпова в фотохимической лаборатории, руководимой А. И. Рабиновичем, были развернуты исследования главным образом теоретического характера, в основном связанные с пониманием процесса фотолиза сенсibilизированного галогенида серебра [2—29]. Часть работ А. И. Рабиновича [14, 17], Я. И. Бокина [9, 15, 19], а также Х. С. Багдасарьяна [20, 23] была посвящена изучению процесса фотолиза галогенида серебра, сенсibilизированного атомарным серебром, полученным предварительной засветкой галогенида серебра (лантенсификация), или сенсibilизаторами, и рассмотрению механизма этих процессов.

Указанными авторами были определены для разных длин волны значения квантовых выходов φ этих процессов [15, 19, 20, 23], что значительно расширило сведения, ранее полученные Эггертом и Ноддаком [30], а также Шенпардом [31]. Полученные величины φ несколько уступали найденным Шенпардом [31]. Кроме того, этими же авторами [15, 19, 20] в согласии с данными Лещинского [32] и Толлерта [33] был найден также высокий (от 4 до 10) «выход» сенсibilизации. При этом Х. С. Багдасарьяном [20] было найдено, что наблюдаемое частичное разложение красителя практически обусловлено не собственно процессом фотолиза, а побочными вторичными реакциями (подобно тому как это позже было показано Шенпардом [34], установившим взаимодействие красителя с фотолитическим бромом).

* В составлении сообщения принимали участие Э. Б. Лифшиц и А. С. Хейман.
** Работы по механизму оптической сенсibilизации приведены и более подробно рассмотрены в сообщении П. В. Мейклера [1].

Большая часть работ Я. И. Бокина и З. А. Ильиной [2—6, 8, 16, 18] была посвящена повышению чувствительности фотографических эмульсий под влиянием восстанавливающих веществ или раствора нитрата серебра (гиперсенсibilизация).

В результате работ по адсорбции сенсibilизирующих красителей на галогенидах серебра, проведенных под руководством А. И. Рабиновича [14] Х. С. Багдасарьяном [13] и С. В. Натансон [22], были также высказаны принципиальные положения, в частности о том, что между адсорбируемостью красителя и его эффективностью нет связи и что горизонтальный участок изотермы соответствует, как было рассчитано, мономолекулярному заполнению поверхности адсорбента. Также, аналогично Шенпарду [35], был установлен разнообразный характер изотерм.

С. В. Натансон и Г. Л. Натансон указали на соответствие между фотолизом эритрозинов серебра и бромида серебра, сенсibilизированного эритрозином [26—29]. При этом было установлено, что фотолиз чистого эритрозинов серебра протекает необратимо, без регенерации эритрозина, тогда как в системах, содержащих, например, воду или желатину, в результате фотолиза происходит регенерация красителя, чем и объясняется высокий квантовый выход сенсibilизации.

В итоге ими было сформулировано заключение, что фотолиз сенсibilизированного кислыми красителями галогенида серебра можно рассматривать как результат перехода электрона от сенсibilизирующего красителя к иону серебра решетки, подобно тому как это наблюдается при фотолизе, например эритрозинов серебра.

А. И. Рабиновичем [14] был предложен механизм фотолиза сенсibilизированного галогенида серебра, учитывающий энергию окисления красителя кислородом воздуха. Однако позже Х. С. Багдасарьяном [23] было показано, что сенсibilизированный фотолиз протекает и в вакууме, и в атмосфере инертного газа.

Со времени открытия оптической сенсibilизации [36] было установлено, что полоса сенсibilизации всегда сдвинута в длинноволновую часть спектра по сравнению с полосой поглощения красителя в растворе. Как сам Фогель, так и Эдер [37] видели причину этого явления во влиянии адсорбента на молекулу красителя. Однако некоторые авторы, в частности Унгар [38], этот эффект приписывали специфике фотолиза сенсibilизированного галогенида серебра.

С. В. Натансон [24, 25, 28] экспериментально впервые было показано соответствие спектров поглощения кислых красителей, адсорбированных на галогениде серебра, возогнанном в вакууме, и спектров поглощения соответствующих сенсibilизированных фотографических слоев.

Независимо Лирмекерс [39], применяя появившийся уже в то время в США спектрофотометр с отражательным приспособлением, показал хорошее соответствие спектров поглощения сенсibilизированных слоев и спектров сенсibilизации этих же материалов.

В 1950—1955 гг. в этом направлении в ЛИКИ были проведены работы Ю. Н. Гороховским и Е. И. Ожерельевой [40, 41], в которых сравнивались спектры поглощения сенсibilизированных красителями слоев со спектрами поглощения соответствующих красителей в желатиновых слоях. В результате было показано, как и следовало ожидать, отсутствие отчетливого соответствия в поглощении этих систем.

Кроме этого, несколько позже этими же авторами проводилось сравнение спектров сенсibilизации со спектрами поглощения этих слоев, однако и в этих случаях полного соответствия кривых, особенно относительной интенсивности отдельных полос, авторы не установили.

Большое количество работ, проведенных в НИКФИ в 30-е годы К. В. Чибисовым, В. С. Чельцовым, Н. В. Макаровым, Я. И. Бокиным с их со-

в работах Ю. Н. Гороховского с сотр. [40, 41, 113, 151], которые проводили, как уже упоминалось, также сравнение спектральных кривых поглощения чувствительных слоев с кривыми их спектрального распределения чувствительности. Им было установлено, что при совпадении положения полос поглощения и чувствительности соотношение интенсивностей их, как правило, не совпадает. Исследованиями в НИКФИ [69—72, 75, 79, 82, 84, 114] на очень большом числе примеров установлено, что характер спектров поглощения и чувствительности совпадает в случае всех неполимеризующихся красителей, а также и у многих полимеризующихся, у которых M -состояние и образующиеся на галогениде серебра полимолекулярные состояния близки по фотохимической активности.

Изучением чувствительности эмульсий, отличающихся составом твердой фазы, кроме К. В. Чибисова и Н. В. Макарова [49], занимались также Ю. Н. Гороховский с сотр. [41, 115, 116], С. В. Натансон с М. М. Костиной [74] и М. К. Гречко [114]. Последние на большом числе изученных красителей в противоположность Ю. Н. Гороховскому с сотр. [115] показали, что, как правило, при переходе от подбромосеребряных к хлорбром- или хлорсеребряным эмульсиям склонность к агрегации у большинства чувствительных слоев уменьшается [74]. Наоборот, присутствие иодида в $AgBr$ -эмульсии обуславливает увеличение склонности к J -агрегации [74, 114].

Однако, как показано всеми исследователями, значительное увеличение иодида в бромосеребряной эмульсии приводит к уменьшению чувствительности. В данном случае, как видно из работ М. К. Гречко [114], по-видимому, оптимальное количество иодида следует подбирать не только на нечувствительных эмульсиях.

Вопрос о влиянии желатинизации на фотографические характеристики чувствительных фотослоев представляется весьма сложным и недостаточно изученным, что, возможно, связано как с нестабильностью свойств используемых желатинизаторов, обусловленных и сырьем, и очисткой, и содержанием тиосульфата, сульфита, так и различным поведением их при получении разных типов эмульсий.

Из работ по чувствительности, связанных с влиянием желатинизации, можно отметить исследование А. В. Борина [90—93], который выявил, что определенные сорта желатинизатора, а также отдельные ее фракции способствуют образованию J -состояний одного из эффективных панхроматических чувствительных слоев.

За последние годы многими исследователями проводилось изучение влияния стабилизаторов, аммиака, ионов иода и роданида на чувствительность эмульсии [49, 100, 101, 116—120]. М. К. Гречко [84, 101, 114] на большом числе примеров показал, что в случае неполимеризующихся красителей влияние упомянутых веществ, так же как и характера применяемой эмульсии, невелико. В случае же полимеризующихся красителей эти вещества оказывают существенное влияние, зависящее также от типа использованной эмульсии, на склонность этих красителей к образованию полимолекулярных состояний, а следовательно, и на характер распределения спектральной чувствительности соответствующих фотографических слоев.

Проводили также исследования влияния длительности второго созревания и введения чувствительного слоя на различных этапах синтеза эмульсии [44, 50, 116, 121]. Однако, несмотря на важность полученных сведений, пока трудно сделать какие-либо однозначные выводы по этому вопросу.

Вообще же следует отметить, что несмотря на большое число весьма ценных работ, посвященных исследованию влияния так называемых эмульсионных факторов, хотя последние часто имеют решающее значение для получения требуемых фотографических слоев, трудно вывести какие-либо

обобщения, ввиду того что многие исследования проводились лишь с отдельными чувствительными слоями и, кроме того, действие «добавок» весьма различно в разных по характеру эмульсиях.

Большое влияние на чувствительность оказывает содержание растворимого бромида в эмульсии. Этому вопросу с самых ранних времен, начиная с работ Люппо-Крамера [122], Каррола и Хоббарда [123], уделялось большое внимание. К исследованию этого вопроса можно отнести и многочисленные работы по гиперчувствительности. Исследованиями этого вопроса в Советском Союзе посвящены работы К. В. Чибисова [49, 53], В. С. Чельцова [42, 43], Н. В. Макарова [49], Рабиновича А. И. и Багдасарьяна [10], Я. И. Бокшица [18], Ю. Н. Гороховского [124], И. И. Брейдо [125], С. В. Натансон [126], А. В. Борина [109—111], С. М. Соловьева [127] и др. Всеми авторами в согласии с данными Люппо-Крамера было установлено, что увеличение концентрации ионов брома в эмульсии, как правило, приводит к понижению светочувствительности. Кроме того, различными способами изменения pBr и установлением оптимальных условий для чувствительности различных слоев занимались А. Ф. Вомпе, А. С. Хейман [128, 129], С. В. Натансон [75, 78, 100, 126] и др.

В последних работах на большом числе примеров было показано, что для большинства чувствительных слоев уменьшение концентрации ионов брома в эмульсии приводит к повышению чувствительности чувствительных слоев. Однако характер распределения спектральной чувствительности в значительной мере зависит от способа изменения pBr эмульсии. Так, при промывке готовых слоев или чувствительной эмульсии характер распределения остается неизменным. При промывке же эмульсии до чувствительности или при добавлении раствора нитрата серебра до относительно высоких значений pBr (~ 4) для многих полимеризующихся красителей наблюдается понижение склонности к образованию различных полимолекулярных состояний, что приводит иногда к весьма благоприятным результатам (в случае, например, метилатов карбоцианинов, склонных к образованию неэффективных H -полимеров), в ряде же случаев — к потере чувствительности слоев в области поглощения J -состояний, что особенно следует учитывать при создании панхроматических материалов.

Поэтому, если для поликарбоцианинов, т. е. инфрасенсибилизаторов, практически всегда полезно уменьшение концентрации растворимого бромида, то для полимеризующихся карбоцианинов необходимо устанавливать оптимальное значение pBr , которое обеспечивало бы, с одной стороны, высокую чувствительность слоя, а с другой, не изменяло бы резко или изменяло более благоприятно характер распределения спектральной чувствительности.

С. В. Натансон и Э. Ф. Климов [72, 75, 82] было показано, что при уменьшении концентрации ионов брома происходит значительное увеличение значений относительного квантового выхода, что говорит в пользу высказанного ими предположения, что адсорбированные на ионах серебра решетки брома вызывают помехи при передаче поглощенной красителем энергии галогениду серебра.

Л. Г. Гросс [130], однако, показал, что увеличение фотопроводимости при уменьшении концентрации бромида происходит не во всех случаях. Но А. С. Хейман и В. П. Донатова [128] установили, что в панхроматических слоях, гиперчувствительных промывкой, распределение скрытого изображения между поверхностью и объемом микрокристаллов одинаково в области собственной и дополнительной чувствительности. Кроме того, рост поверхностной светочувствительности с увеличением pBr сопровождается таким же возрастанием внутренней чувствительности. Эти данные показывают, что энергия, поглощенная красителем, используется для перевода электронов в зону проводимости и что рост добавочной чув-

ствительности при уменьшении концентрации ионов брома обусловлен увеличением эффективности передачи энергии от красителя к бромиду серебра.

С 1947 г. в НИКФИ проводилось систематическое изучение компонентоустойчивости сенсibilизаторов, т. е. исследование влияния цветных недиффундирующих компонент на сенсibilизирующее действие красителей различного строения — родацианинов, цианинов и мероцианинов [64, 66, 131—142].

В результате этих работ были установлены основные закономерности между компонентоустойчивостью красителей и их структурой. Было выяснено, что сенсibilизирующее действие солеобразных красителей, не только цианинов, но и родацианинов без заместителей в гетероостатках, значительно снижается в присутствии цветных недиффундирующих компонент. Повышение же компонентоустойчивости может быть достигнуто введением в гетероостатки (тиазол, тиазолин, бензтиазол и др.) заместителей с относительно большим молекулярным весом, например фенильных, тетраметиленовых или бензо-групп [6]. Повышение компонентоустойчивости имидакарбоцианинов достигается введением самых разнообразных заместителей [142]. В ряду же внутриионидных соединений — меро- и димероцианинов, как правило, компонентоустойчивы производные N-алкил(арил)-азолидинтион-2-онов [140, 141].

Найдено, что подавление сенсibilизирующего действия цветными компонентами определяется в основном десорбцией сенсibilизаторов с поверхности галогенида серебра, обусловленной адсорбционным вытеснением их компонентой, а также депрессирующим влиянием последней на способность красителей к передаче поглощенной энергии решетке галогенида серебра [64, 138, 139]. Этот вывод согласуется с полученными позднее данными Майера [143].

Ю. Н. Гороховский и З. И. Грацианская [144], которые несколько позже проводили исследование влияния компонент на оптическую сенсibilизацию, в основном указывают на те же факторы, обуславливающие изменение сенсibilизирующего действия под влиянием компонент; при этом они придают большое значение взаимодействию сенсibilизаторов с компонентами не только в растворе, но и на поверхности эмульсионных зерен, хотя экспериментальных доказательств в подтверждение последнего не приводится.

Следует отметить, что в некоторых зарубежных работах [145—147] также отмечается возможность этого взаимодействия, однако также без экспериментального подтверждения. Частично это может быть связано с тем, что выводы делаются на основании исследования очень небольшого числа красителей.

Далее было показано [140, 141], что компонентоустойчивость мероцианинов связана с характером их адсорбции — в случае ослабленного взаимодействия с галогенидом серебра адсорбция описывается кривой уравнения Фрейндлиха, при более прочной связи изотерма по форме соответствует изотерме Лангмюра.

Как известно, введение в эмульсию наряду с обычными компонентами соответствующих арилазопроизводных (так называемых маскирующих или окрашенных компонент) вызывает значительное уменьшение общей и дополнительной светочувствительности эмульсии, сенсibilизированной вполне компонентоустойчивыми красителями. Маскирующие компоненты, как показано в работах [148—150], обуславливают большую десорбцию красителя с поверхности эмульсионных зерен, чем соответствующие неокрашенные соединения, и очень часто вызывают снижение дополнительной светочувствительности сенсibilизированной эмульсии в процессе выстаивания перед поливом. Было показано, что это снижение

наблюдается при использовании N,N'-диалкилатов карбо- и родацианинов и обусловлено в основном постепенным увеличением десорбции этих солеобразных красителей с поверхности эмульсионных зерен. Десорбция внутриионидных красителей: меро- и димероцианинов производных N-алкил(арил)-азолидинтион-2-она-4 в этих условиях практически не возрастает, и их сенсibilизирующее действие, как правило, не снижается при выстаивании эмульсии. В результате этих работ было сформулировано дополнительное требование, предъявляемое к сенсibilизаторам для пленок с внутренним маскированием.

На основании всех проведенных исследований были осуществлены синтезы весьма эффективных и компонентоустойчивых родацианинов, цианинов и димероцианинов (З. П. Сытник, И. В. Левкоев, Н. Н. Свешников, А. Ф. Вомпе, А. И. Киприанов, В. М. Зубаровский, Л. М. Ягупольский с их сотрудниками)* и изучение свойств этих сенсibilизаторов (Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Г. Ф. Курепина, Ю. Б. Виленский, М. А. Альперович с их сотрудниками), что позволило внедрить некоторые из них; это существенно повысило светочувствительность цветных фотоматериалов (А. Н. Иорданский, Ю. Б. Виленский, И. М. Килинский и Л. В. Гречко и др.).

Способность сенсibilизаторов, применяемых для очувствления цветных кинофотоматериалов, к диффузии изучена в работе [152], в которой использована методика Майера и Ульбрихта [153]. Ю. Б. Виленским и Р. В. Тимофеевой [154] для исследования этой же проблемы разработан оригинальный метод определения диффузии в условиях, близких к многослойной системе. Указанные работы позволили выбрать для использования в практике действительно недиффундирующие сенсibilизаторы, а также разработать и внедрить способ предотвращения диффузии красителей в многослойных пленках, который используется в одной из них [152].

При проведении исследований по влиянию компонент на сенсibilизирующее действие красителей именно советскими исследователями [131, 132, 134—137] было отмечено увеличение чувствительности слоев, сенсibilизированных некоторыми полиметиновыми красителями, что было определено как активирующее действие компонент аналогично наблюдаемому в случае некоторых ПАВ типа производных стеароиламинонафталинсульфокислот (НИКФИ [155]).

Специальными исследованиями в НИКФИ (С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Э. Ф. Климзо) было показано, что как активирующее, так и депрессирующее действие компонент [139], а также их взаимодействие с красителями в растворах в основном обусловлено наличием в молекуле активатора высокомолекулярного алифатического остатка и кислотных групп [64, 133, 138, 139, 156]. Однако следует подчеркнуть, что между депрессирующим и активирующим влиянием различных веществ, в том числе и поверхностно-активных, на сенсibilизирующее действие красителей и характером взаимодействия их друг с другом в растворах никакой определенной зависимости не наблюдается [64, 156]. Хотя, как было показано А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Курепиной, К. И. Покровской и И. А. Витебской,** при активации производными *n,n'*-диаминостильбен-*o,o'*-дисульфокислоты наблюдается некоторое батохромное смещение области сенсibilизации ди-, три- и тетракарбоцианинами (около 10 мкм).

Было также установлено, что процесс активации различными соединениями, в том числе и поверхностно-активными, весьма специфичен

* См. сообщение И. И. Левкоева стр. 90.

** В печати.

и зависит от сочетания характера молекул красителей и активирующего вещества (АВ), а также и условий их применения. Часто АВ, вызывающие повышение сенсibilизирующего действия одних красителей, не оказывают влияния в случае других или даже обуславливают падение их эффективности. С другой стороны, светочувствительность слоев, сенсibilизированных, например, 3,3',9-триэтил-4,5,4',5'-добензотиакарбодиазанином [75, 139, 155], значительно повышается в присутствии стеариоламинонафталинсульфокислот и компонент производных пирозолона-5 [75], но в большинстве случаев мало изменяется при введении в эмульсию замещенных амидов 1,2-оксинафтойной кислоты [139]. При этом активирующее действие первых при повышении рВг эмульсии резко уменьшается, возможен даже депрессирующий эффект указанных веществ.

Далее, было обнаружено [157—160], что применение оптически отбеливающих веществ (так называемых ООВ) в эмульсиях, сенсibilизированных ди- и трикарбодиазанинами различного строения, как правило, приводит не только к повышению светочувствительности инфраслоев, но в ряде случаев — к уменьшению плотности вуали и некоторому улучшению их сохраняемости.

На сенсibilизирующее действие многих карбодиазанинов некоторые ООВ также оказывают благоприятное влияние [161].

В процессе подбора активаторов для различных слоев было найдено, что совместное применение некоторых из них оказывает аддитивное, а иногда даже супераддитивное действие (например, стеариоламинонафталинсульфокислот или цветных недиффундирующих компонент в сочетании с полиэтиленгликолями [162, 163] или ООВ указанного типа [164]).

Возможность использования двух активаторов, из которых один является цветной компонентой, тем более представляется перспективной, что в случае не вполне компонентоустойчивых красителей или при использовании маскирующих компонент действие второго активатора как бы компенсирует понижение дополнительной светочувствительности, вызываемой первым соединением [163].

Механизм активации пока неизвестен, но можно предполагать, что в некоторых случаях активирующие вещества, с одной стороны, способствуют освобождению поверхности галогенидов серебра от избыточных ионов брома, что обуславливает облегчение передачи энергии от красителя галогениду серебра, а с другой, возможно, способствуют ориентации молекул красителя, более выгодной для передачи поглощенной энергии.

С. В. Натансон и Э. Ф. Климзо было показано [75, 82], что при использовании активирующих веществ относительный квантовый выход сенсibilизации значительно повышается, так же как увеличивается фотопроводимость, определенная Л. Г. Гроссом [130].

Исследование активаторов, а также процесса активации продолжается как в Госнихимфотопроекте, так и в его филиалах.

Некоторые синтезированные в Госнихимфотопроекте (см. [151]; И. И. Левкоев, Б. С. Портная, Т. М. Мошкина, Н. А. Швинк, М. А. Ахметзянов) и в НИОПиКе (под руководством И. В. Александрова) активирующие вещества нашли широкое применение при производстве некоторых пахроматических и особенно инфрахроматических фотоматериалов [155, 162—166] (исследование и применение проводили С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, Э. Ф. Климзо, А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Курецина, А. С. Хейнман, Н. М. Парфенова, С. М. Соловьев, В. И. Шеберстов, А. М. Чураева, А. В. Борин, С. И. Рыскина, Т. М. Мошкина, М. В. Мишакова и др.).

Помимо сенсibilизации фотослоев отдельными красителями в связи с возрастающими требованиями к материалам с более широкой зоной

сенсibilизации в НИКФИ проводили исследования по подбору различных смесей красителей, не оказывающих друг на друга отрицательного действия, как с точки зрения вытеснения с поверхности одного другим, так и с точки зрения возникновения помех при образовании фотохимически активных полимолекулярных состояний. Последнее весьма часто наблюдается в случае красителей, образующих недостаточно прочные J-полимеры.

Объем работ, начатых еще в 30-х годах (И. Б. Блюмберг, В. Н. Харченко [167], см. также [168]), по исследованию и применению смесей красителей постепенно расширяется, особенно в связи с созданием комплексов кинонегативных и фотолюбительских пленок (см., например, [114, 169]), а также других фотопленок различного назначения (А. В. Борин, В. Л. Зеликман, Н. В. Макаров, М. К. Гречко, С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, Э. Ф. Климзо, М. В. Крылова и многие товарищи из Госнихимфотопроекта и его филиалов, а также кинопленочных заводов).

Исследованию адсорбции сенсibilизирующих красителей, а также их десорбции с галогенидов серебра за последние 25 лет посвящен ряд работ; изучение проводили как в нейтральных чистых системах, так и в системах, содержащих различные избыточные количества ионов брома и серебра (Ю. Н. Гороховский с сотр. [54], Е. А. Никифоров [170], С. М. Соловьев [127, 171—173], З. Л. Петрушкина [174, 175], Э. Б. Лифшиц [139—141] и С. В. Натансон [22, 71], Н. И. Сенникова [72, 83, 98, 99, 176, 177]).

Последние исследовали адсорбцию красителей, отличающихся основностью, растворимостью, склонностью к полимеризации, при этом были изучены как отдельные красители, так и их смеси. Основными выводами этих работ является установление зависимости количества адсорбированного красителя и характера адсорбционного слоя (по кривым распределения спектрального поглощения) от состава адсорбента, заряда поверхности, дисперсионной среды, строения и аниона красителя. В результате проведенных работ предложен механизм адсорбции цианиновых красителей на галогенидах серебра. Он заключается в том, что сенсibilизаторы этого типа удерживаются поверхностью адсорбента, по-видимому, частично кулоновскими силами, частично же благодаря π -электронному взаимодействию с ионами серебра решетки [176]. Такое предположение высказано на основании того, что, несмотря на катионный характер цианинов, их адсорбции мешают как избыточные ионы брома, так и ионы серебра, при этом в разной степени — в зависимости от основности красителя и его склонности к полимеризации [176].

Показан двойственный характер влияния ионов брома. С одной стороны, они, адсорбируясь на ионах серебра решетки, вызывают помехи при адсорбции даже катионидных красителей, а следовательно, и при передаче поглощенной сенсibilизатором энергии, а с другой, весьма способствуют полимеризации красителей в адсорбционном слое, практически увеличивая, таким образом, количество адсорбированного красителя [176].

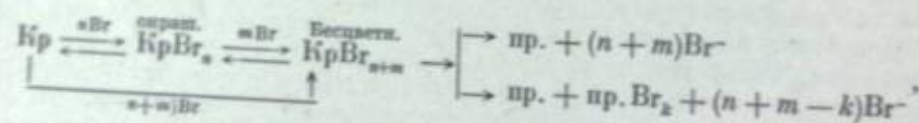
Заключение об адсорбционном взаимодействии солеобразных цианинов с ионами серебра кристаллической решетки не представляется удивительным в связи с работами по комплексообразованию между полиметиновыми красителями и ионами серебра [178, 179]. Еще в 40-х годах независимо друг от друга Ю. Н. Гороховский [124] и более подробно С. В. Натансон [180] изучали взаимодействие ионов серебра в растворе с различными по строению полиметиновыми красителями. Ю. Н. Гороховский при объяснении наблюдаемого явления допускал равноценность как образования серебряных комплексов, так и окислительно-восстановительный процесс.

С. В. Натансон на большом числе примеров было показано, что в растворах образуются серебряные комплексы цианинов, которые распадаются с выделением металлического серебра (определено время полураспада) и являются причиной образования вуали, сенсibilизированных такими красителями фотографических слоев. Кроме того, было показано, что эти комплексы вступают в реакцию обмена с электролитами, анионы которых образуют менее растворимые соли серебра, чем комплексы красителей (например, иона I^-, CN^-) с регенерацией катиона красителя [180]. Позднее К. И. Покровской, И. И. Левкоевым и С. В. Натансон [181] было установлено, что склонность к такому взаимодействию возрастает с увеличением основности красителей* и наблюдается практически для всех групп полиметиновых красителей [182, 183].

Однако, по-видимому, не следует считать, что на поверхности галогенида серебра при адсорбции красителя возникает комплекс с ионом Ag^+ решетки, полностью идентичный возникающему в растворе при взаимодействии ионов серебра с некоторыми полиметиновыми красителями. Этот комплекс образуется с освобождением протона, что подтверждено [182, 183] соответствующим понижением рН системы, и вступает в реакцию обмена [180].

Исследование процесса бромирования цианиновых красителей представляло интерес в связи с тем, что при фотолизе сенсibilизированного галогенида серебра фотолитически освобожденный бром реагирует с сенсibilизаторами. Еще Шеншардом и другими исследователями (например, [34]) и независимо от них Х. С. Багдасарьяном [20] было установлено, что квантовый выход фотолиза падает во времени при отсутствии в системе акцепторов брома. С. М. Соловьев показал [184], что бромированные красители являются сильными десенсibilизаторами.

С. В. Натансон [63] при изучении фотолиза галогенидов серебра, сенсibilизированных основными красителями в отсутствие желатины, было обнаружено, что часть обесцвеченного фотолитическим бромом сенсibilизатора регенерируется при выстаивании системы даже в отсутствие акцепторов брома или каких-либо восстановителей. В связи с этим совместно с И. И. Левкоевым [185] было исследовано взаимодействие многих цианинов и мероцианинов с атомарным бромом. В результате при бромировании красителей ими был установлен ряд процессов, протекающих с различной скоростью и в значительной степени зависящих от дисперсионной среды и количества свободного брома и была предложена следующая схема этих процессов:



где Kp — краситель; пр. и пр., Br_2 — устойчивые продукты разложения.

В фотографических эмульсиях, содержащих желатину, являющуюся акцептором брома, имеются большие возможности для регенерации сенсibilизатора, реагирующего с фотолитическим бромом.

В последние годы И. И. Левкоевым и В. Н. Сапуновым был установлен химический состав первичных продуктов бромирования пинацианола.

В. Е. Холмогоровым и И. А. Акимовым [186] методом ЭПР показано, что радикальное состояние красителя, обнаруженное Уэстом [187],

* Это хорошо согласуется с полученными нами данными по адсорбции цианиновых красителей разной основности на бромиде серебра с различной концентрацией ионов брома в системе [178].

возникает не из-за фотолиза сенсibilизированного галогенида серебра, а в результате взаимодействия с фотолитическим ионом брома. Пока полной корреляции сигналов ЭПР с характером бромирования аналогичных красителей не установлено.

До 1937 г. в химии полиметиновых красителей для характеристики азотсодержащих гетероциклических ядер применяли весьма неопределенный термин — «природа гетероостатка». А. И. Киприановым с сотр. [188] на основании отклонений максимумов поглощения несимметричных карбоцианинов от рассчитанных максимумов поглощения, соответствующих симметричных красителей, т. е. величин гипсохромных сдвигов (девиаций) было введено понятие основности гетероостатков, характеризующее легкость присоединения протона (или способность к отдаче электрона).

Термин «основность», имеющий вполне конкретный физический смысл и характеризующий одно из важнейших свойств гетероостатков, очень быстро получил всеобщее признание и широко используется при изучении окраски и различных свойств красителей.

В 1947 г. А. И. Киприановым с сотрудниками [189] был разработан метод экспериментального количественного определения основности цианинов по концентрации соляной кислоты ($M/l-A$), вызывающей перевод красителя (в определенных условиях) в бесцветную двухкислотную соль.

В НИКФИ начиная с 50-х годов Н. С. Спасокукоцкий и И. И. Левкоев совместно с другими сотрудниками проводили изучение основности полиметиновых красителей. Установленные зависимости основности (A и pK_a) красителей от их строения, в частности от природы гетероостатков и характера заместителей в последних, имели существенное значение для анализа фотографических и некоторых других свойств сенсibilизаторов [181, 190—192].

Совсем недавно [193, 194] была установлена линейная зависимость между основностью, точнее, между значениями pK_a , индо-, тиа-, хино-2- и имидакарбоцианинов, и σ_p -константами Гаммета заместителей в n, n' -положениях к циклическим атомам азота.

Уравнения $pK_a = f(\sigma_p)$, связывающие эти величины, позволяют, с одной стороны, определить основность красителей без физических измерений — для любых заместителей, для которых известны σ_p , что имеет особое значение для группировок, способных к солеобразованию (аминогруппа, остатки гетероциклических оснований), а с другой стороны, измерение при помощи несложной методики основности симметричных n, n' -дизамещенных карбоцианинов дает возможность достаточно точно определить значение σ_p -констант различных «новых» заместителей [194].

Следует отметить, что попытка корреляции фотографических свойств мезозамещенных трикарбоцианинов с σ_p -константами Гаммета, как это сделано А. А. Садыковой и З. П. Докучаевой [195], представляется неоправданной, так как между величинами pK_a этих красителей и σ_p -константами не наблюдается ни линейной, ни криволинейной зависимостей.

Исследование десенсibilизирующего действия сенсibilизирующих красителей проводилось в Советском Союзе с 30-х годов.

Под десенсibilизацией понимают падение собственной чувствительности галогенида серебра под действием красителей. Это явление представляет значительный практический интерес, так как десенсibilизация является одним из факторов, определяющих оптимальную концентрацию оптического сенсibilизатора.

Я. И. Бокиник и З. А. Ильина уже в 1932 г. [196] показали, что увеличение концентрации ионов брома усиливает десенсibilизирующее действие типичных десенсibilизаторов, а увеличение концентрации

ионов серебра уменьшает десенсибилизирующее и увеличивает сенсibiliзирующее действие десенсибилизаторов.

Р. В. Чубаров в 1936 г. [197] высказал предположение, что десенсибилизация обусловлена поглощением красителем энергии фотовозбуждения из решетки галогенида серебра.

Х. С. Багдасарьян [198], используя понятия зонной теории твердого тела, высказал гипотезу, согласно которой фотоэлектроны рекомбинируют с дырками на локальных уровнях, создаваемых десенсибилизатором. Эта гипотеза в настоящее время является наиболее обоснованной (работы Дэне [199], а также Тамура и Хада [200]).

И. И. Брейдо и Ю. Н. Гороховский [201] в 1943 г. нашли, что десенсибилизирующее действие оптических сенсibiliзаторов спектрально-избирательно в широкой зоне собственной чувствительности. Ю. Н. Гороховский и А. Х. Сарбаш [202] показали, что типичный десенсибилизатор — пинакриптол зеленый — понижает добавочную чувствительность панхроматического слоя значительно сильнее, чем собственную чувствительность.

На основании данных по спектральному распределению фотоэффекта П. В. Мейкляр с сотр. [203] объяснил такую избирательность затрудненной передачей энергии бромиду серебра.

А. В. Борин с сотр. [104, 105, 204], а также А. С. Хейнман [81, 86] исследовали десенсибилизирующее действие сверхоптимальных концентраций оптических сенсibiliзаторов. Последний нашел, что в отсутствие стабилизатора наблюдается одинаковая десенсибилизация поверхности и объема микрокристалла, что объясняется электроно-акцепторной функцией молекул сенсibiliзатора.

А. С. Хейнман с сотр. [205] нашел, что десенсибилизирующее действие феносафранина растет с увеличением его окислительного потенциала. А. С. Хейнман, С. В. Натансон, Н. С. Спасокукоцкий, А. Ф. Вомпе и Р. В. Караульщикова [129] установили, что десенсибилизирующее действие в ряду мезозамещенных триакикарбонцианинов растет с увеличением электроно-акцепторной способности. Результаты этих работ авторы объясняли способностью молекул красителей захватывать фотоэлектроны.

З. П. Докучаева и А. А. Садыкова [195] независимо подтвердили указанную связь десенсибилизации и электроно-акцепторной способности красителей.

Л. Г. Гросс [206] и П. В. Мейкляр с сотр. [203] не обнаружили заметного падения фотопроводимости при адсорбции оптических сенсibiliзаторов и пинакриптола зеленого. На этом основании П. В. Мейкляр считает, что красители не захватывают фотоэлектроны, а еще до экспонирования связывают «отрицательно заряженные частицы» из решетки галогенида серебра. Однако природу этих частиц автор не обсуждает.

А. С. Хейнман и В. П. Донатова [207, 208] в результате систематического сравнительного исследования (1960—1968 гг.) десенсибилизации и старения инфрахроматических слоев обнаружили далеко идущую аналогию этих двух процессов. Авторы сделали вывод, что старение обусловлено образованием продуктов взаимодействия красителя с кислородом, электроно-акцепторная, а поэтому десенсибилизирующая способность которых выше, чем у исходного красителя.

В заключение следует отметить, что в проблеме оптической сенсibiliзации фотографических слоев, несмотря на то что в настоящее время мы располагаем многими сведениями, помогающими более или менее успешно пользоваться оптическими сенсibiliзаторами для создания самых разнообразных кино- и фотоматериалов, остается еще очень много нерешенных вопросов. Это связано как с самим процессом сенсibiliзации

галогенидов серебра (хотя уже скоро мы будем праздновать 100-летний юбилей открытия этого явления), так и со строением сенсibiliзирующих красителей и их свойствами, а также и условиями их применения.

В отношении механизма процесса многое остается еще неясным, несмотря на очень интересные, достаточно убедительные опыты И. А. Акимова и А. В. Шабли [209], показавших, что процесс оптической сенсibiliзации фотоэффекта в ZnO обусловлен передачей именно энергии, поглощенной красителем, а не электроном. В то же время японские исследователи Тани, Хода и Кикучи [210] доказывают электронный характер этого процесса.

Опытами С. В. Натансон и Г. Л. Натансона [26—29] по соответствию фотолитиза эритрозиновата фотолитизу сенсibiliзированного им галогенида серебра также нельзя пренебречь. Определение величины квантовых выходов этих процессов однозначно могло бы решить этот вопрос, хотя бы для сенсibiliзации кислыми красителями.

При исследовании адсорбции сенсibiliзирующих красителей на галогенидах серебра для выяснения, какие связи играют большую роль при адсорбции, представляется весьма важным изучение инфракрасных спектров. В первую очередь, по-видимому, следует изучить изменение карбоильных частот (как наиболее известных) при адсорбции мероцианинов. Исследование инфракрасных спектров является нелегкой задачей, так как характерные для цианинов частоты пока не вполне соотнесены с какими-либо связями.

В механизме адсорбции красителей и связи адсорбированного состояния красителей с их сенсibiliзирующим действием также много неясного.

Если даже принять, что ионы брома, адсорбированные на ионах серебра решетки галогенида серебра, и обуславливают помехи и при адсорбции и при передаче энергии последнему, то почему в столь различной степени они проявляют это действие?

Нами было показано [176], что с увеличением основности красителей ионы брома оказывают меньшие помехи, но в это же время не очень понятно, почему независимо от основности, т. е. факта, обуславливающего сродство к ионам серебра, все цианиновые красители, включая и бетанины, одинаково плохо адсорбируются при pAg ниже 4. Надо отметить, что при этом, как показали Дэвис и Холлидей [212], резко возрастает положительный потенциал поверхности.

Недостаточно также изучены физико-химические свойства сенсibiliзирующих красителей. До сих пор неясно, чем обусловлен характер спектра поглощения, например спиртовых растворов цианиновых красителей, в которых они молекулярно дисперсны; неясно, чем вызван перегиб на коротковолновой ветви кривой, как связана величина коэффициента экстинкции со строением красителя, чем обусловлена ее величина. Нет полной ясности в вопросе состояния красителей в растворах, так как не определены до сих пор константы диссоциации в водных и спиртовых растворах. Как связана склонность к образованию различных полимолекулярных состояний со строением молекулы? Почему, казалось бы, из близких по строению красителей одни образуют главным образом J -состояния, другие только H -, а третьи — и те и другие? Брукером [211] было высказано предположение, что эта склонность обусловлена компактностью строения молекулы. Однако известно образование полимолекулярных состояний, например у дикарбонцианинов [68].

Почти ничего не известно о природе этих полимолекулярных состояний. Какое количество молекул они объединяют, каков характер их межмолекулярных связей? Почему эти состояния значительно отличаются как по поглощению, так и по фотохимической активности? В чисто прак-

тическом плане следует изучать условия, обеспечивающие получение прочных фотохимически активных полимолекулярных состояний. Для этого необходимо продолжать исследования влияния различных факторов на образование таких состояний полиметиновыми красителями.

Одним из важных факторов является величина pVg эмульсии и способы ее достижения. Необходимо окончательно установить причину того, что ионы брома весьма различно влияют на разное по строению красителя. Способствует ли этому электронный характер заместителей или стерические факторы последних, или то и другое?

В настоящее время наметился переход к получению эмульсий с более высокими значениями pVg , но нет ясности, до каких пределов надо доводить эти значения и какими способами их изменять. Для полиметиновых красителей с длинной цепью повышение pVg всегда благоприятно сказывается на их фотографических свойствах. Для панхроматических же красителей во всех случаях следует искать оптимальные условия, учитывая их склонность к полимеризации. При сенсibilизации карбодиаминами высокой основности, в частности некоторыми производными бензимидазола, с уменьшением концентрации бромидов не наблюдается увеличения их сенсibilизирующего действия; при этом часто происходит только повышение плотности вуали.

При создании цветных фотоматериалов применение маскирующих компонент для пленок с внутренним маскированием, как известно, существенно осложняет подбор оптических сенсibilизаторов. Для облегчения этого подбора необходимо исследовать «совместимость» сенсibilизаторов с компонентами в целях определения их «компонентоустойчивости» в отношении последних, а также для подыскания активаторов сенсibilизирующего действия красителей для компенсации уменьшения светочувствительности слоя, обусловленного главным образом фильтровым эффектом.

На основании пока чисто эмпирических исследований установлено, что прочность адсорбции красителей часто возрастает при введении в гетероциклические остатки некоторых заместителей (например, фенильных, тетраметиленовых или алкильных групп с числом углеродных атомов более шести).

В настоящее время при синтезе эмульсий широко применяют способ отделения твердой фазы методом осаждения ее различными поверхностно-активными веществами. В результате проведенных у нас работ известно, что многие эффективные сенсibilизаторы непригодны для очувствления таких эмульсий. Было установлено, что в этих случаях следует применять карбодиамины, содержащие у атомов азота гетероциклы сульфид- или сульфатоалкильные группы. Но для успешного использования эмульсий с повышенным содержанием ПАВ эти исследования необходимо продолжать.

Необходимо изучение вопроса об активации сенсibilизирующего действия красителей различными соединениями как с точки зрения понимания этого явления, так и возможности изыскания таких веществ и исследования их чисто в практических целях.

Вопрос об активации интересен еще и с точки зрения строения красителей, так как далеко не все сенсibilизаторы проявляют склонность к активации, а если и проявляют, то только в сочетании с определенными веществами, найденными эмпирически. Чем обусловлена такая способность к повышению сенсibilизирующего действия красителей — электронным ли характером заместителей, пространственным ли их расположением, ориентацией ли молекул красителя в адсорбционном слое на галогениде серебра или сочетанием всех этих факторов, включая и строение активатора, — пока неясно. При этом для изучения строения моле-

кул сенсibilизаторов, а также и активирующих веществ следует привлекать новые методы исследования (полярография, определение ЭПР, ЯМР, масс-спектроскопия и др.). При изучении зависимости между различными свойствами красителей и их строением представляется целесообразным для характеристики электронной природы заместителей использовать константы Гаммета.

Проблема стабильности фотографических слоев является также весьма актуальной. Следует проводить исследования для выяснения причин нестабильности фотоматериалов, так как известно, что она, с одной стороны, обусловлена свойствами сенсibilизаторов, а с другой — не менее важно влияние и характера эмульсии.

Часто при использовании одних и тех же красителей для одних эмульсий наблюдают достаточно хорошую сохранность фотоматериалов, а для других — очень низкую стабильность фотографических характеристик получаемых слоев. Необходимо поэтому изучать факторы, влияющие на стабильность фотоматериалов, как заложенные в самих эмульсиях, так и в свойствах сенсibilизаторов. Последними иногда вызвано десенсibilизирующее или вуализирующее действие.

Следует более детально исследовать, какими элементами строения красителя и почему обусловлены эти свойства, и как они выявляются в зависимости от условий применения сенсibilизатора. Хорошо известно, что сочетание таких факторов, как время, температура созревания, способ отделения твердой фазы, pH, pVg эмульсии, количество и качество добавляемых веществ, желатина оказывают значительное влияние на сенсibilизацию и сохранность фотоматериалов.

Переход к инертным желатинам также потребует специального изучения сенсibilизируемости эмульсий и, возможно, синтеза и подбора новых эффективных сенсibilизаторов.

Таким образом, даже из очень краткого вышеприведенного перечня нерешенных вопросов видно, что для создания различных фотографических материалов, удовлетворяющих весьма многочисленным требованиям науки, техники, кинематографии и других отраслей народного хозяйства, необходимо более широкое и углубленное проведение работ, в частности по спектральной сенсibilизации слоев, как теоретического, так и чисто прикладного характера.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. В. Мейкляр, настоящий сборник, стр. 23.
- [2] J. I. Bokinik, Z. A. Iljina, Z. wiss. Phot., 1932, 30, 330.
- [3] J. I. Bokinik, Z. A. Iljina, Z. wiss. Phot., 1932, 30, 322.
- [4] J. I. Bokinik, Z. A. Iljina, Z. wiss. Phot., 1932, 31, 210.
- [5] Я. И. Бокинник, З. А. Ильина, Кинофотопром., 1932, 1, 126.
- [6] Я. И. Бокинник, Кинофотопром., 1933, 2, 160.
- [7] A. I. Rabinowitsch, Ch. S. Bagdassarian, Z. wiss. Phot., 1933, 32, 97.
- [8] J. I. Bokinik, Z. A. Iljina, Phot. J., 1933, 7, 300.
- [9] Я. И. Бокинник, Фотокинохимпром., 1933, 2, 19.
- [10] А. И. Рабинович, Я. И. Бокинник, Т. Ридигер, Тр. НИКФИ, 1934, 2, 161.
- [11] А. И. Рабинович, X. С. Багдасарьян, Тр. НИКФИ, 1934, 2, 49, 93.
- [12] A. I. Rabinowitsch, Acta physicochim. URSS, 1935, 3, 368.
- [13] А. И. Рабинович, X. С. Багдасарьян, Тр. НИКФИ, 1935, 3, 5.
- [14] A. I. Rabinowitsch, Sc. Ind. Phot., 1935, 6, 288.
- [15] J. I. Bokinik, Z. A. Iljina, Acta physicochim. URSS, 1935, 3, 383; ЖФХ, 1936, 7, 287.
- [16] Я. И. Бокинник, Тр. НИКФИ, 1935, 3, 14.
- [17] А. И. Рабинович, Кинофотохимпром., 1936, 2, 35.
- [18] Я. И. Бокинник, В. А. Смирнова, Кинофотохимпром., 1937, 3 (№ 6), 51.
- [19] Я. И. Бокинник, З. А. Ильина, ЖФХ, 1938, 11, 197.

20] Ch. S. Bagdasarian, Acta physicochim. URSS, 1938, 9, 205.
 21] H. H. Бонч-Бруевич, З. А. Ильина, ЖФХ, 1938, 11, 100.
 22] A. H. Рабинович, С. В. Натансон, ЖФХ, 1938, 11, 434.
 23] X. C. Bagdasarian, Usp. khim., 1939, 8, 1017.
 24] S. W. Natanson, Nature, 1937, 140, 107; ЖФХ, 1938, 11, 157.
 25] С. В. Натансон, ЖФХ, 1939, 12, 1020; Acta physicochim. URSS, 1939, 11, 67.
 26] С. В. Натансон, ЖФХ, 1940, 14, 989.
 27] С. В. Натансон, П. Л. Натансон, ЖФХ, 1940, 14, 278.
 28] С. В. Натансон, Автореф. канд. дис. НИИОФ, М., 1940.
 29] С. В. Натансон, П. Л. Натансон, ЖФХ, 1949, 22, 1106.
 30] J. Eggart, W. Noddyk, Z. Phys., 1923, 20, 229; 1923, 24, 922.
 31] S. E. Sherrard, J. Franklin Inst., 1930, 210, 587.
 32] W. Ledwith, Z. phys. Chem., 1927, 24, 361.
 33] H. Tolbert, Z. phys. Chem., 1929, A460, 355.
 34] S. E. Sherrard, H. H. Lambert, R. D. Wolfart, J. Chem. Phys., 1939, 7, 386.
 35] S. E. Sherrard, H. H. Lambert, R. D. Wolfart, J. Chem. Phys., 1939, 7, 386.
 36] H. Vogel, Ber. Deut. Chem. Ges., 1924, 57, 1076.
 37] J. M. Silver, Stoughton, Wisc. Acad., 1930, 82, 696; Phot. Kongr., 1930, 22, 146, 224.
 38] G. P. Harter, Z. phys. Chem., 1934, 26, 122.
 39] J. Ledwith, J. Chem. Phys., 1937, 5, 589; J. Ledwith, H. S. Casper, C. Strand, Chem., 1937, 5, 100.
 40] H. H. Bagdasarian, Автореф. канд. дис. ЛЕНИ, Л., 1933.
 41] H. H. Bagdasarian, H. H. Bagdasarian, Усп. научн. фотогр., 1934, 11, 110, 110.
 42] H. C. Taylor, Can. Jour., 1935, 12, 31, 425.
 43] H. C. Taylor, Ж. научн. фотогр. и кинематогр., 1935, 4, 111, 144.
 44] H. C. Taylor, H. C. Taylor, Тр. НИИОФ, 1932, 5, Кинофотогр., 1932, 5, 127.
 45] H. C. Taylor, H. C. Taylor, Тр. НИИОФ, 1932, 5, 128.
 46] H. C. Taylor, H. C. Taylor, Тр. НИИОФ, 1932, 5, 129.
 47] H. C. Taylor, H. C. Taylor, Кинофотогр., 1932, 5, 130.
 48] H. C. Taylor, Тезисы доклада на симпозиуме по физическим основам фотогр., 1932, 5, 131-132.
 49] H. C. Taylor, H. H. Bagdasarian, Кинофотогр., 1934, 11, 131, 131.
 50] H. C. Taylor, H. C. Taylor, Тр. НИИОФ, 1934, 7, 132.
 51] H. C. Taylor, Кинофотогр., 1937, 4, 133.
 52] H. C. Taylor, С. E. Sherrard, Кинофотогр., 1938.
 53] H. C. Taylor, Кинофотогр., 1937, 4, 134, 134.
 54] H. H. Bagdasarian, Справочник оптических фотографических материалов, М., 1935.
 55] E. J. Barlow, H. H. Bagdasarian, Кинофотогр., 1938, 4, 217.
 56] H. H. Bagdasarian, Справочник оптических фотографических материалов, 1938, 4, вып. 2, 13; Кинофотогр., 1938, 5, вып. 12, 13.
 57] H. H. Bagdasarian, ЖФХ, 1940, 14, 15.
 58] H. H. Bagdasarian, Усп. научн. фотогр., 1954, 11, 165.
 59] ГОСТ 285-55, Справочник оптических материалов на прозрачной подложке. Методы определения оптических свойств.
 60] H. H. Леккер, С. В. Натансон, Acta physicochim. URSS, 1946, 21, 437; Тр. НИИОФ, 1946, 7, 47.
 61] С. В. Натансон, Acta physicochim. URSS, 1946, 21, 431; Тр. НИИОФ, 1946, 7, 44.
 62] A. H. Канунников, H. H. Леккер, С. В. Натансон, Сб. работ по физическим основам фотогр., 1947, стр. 140.
 63] С. В. Натансон, Тез. докл. на VI съезде по научн. фотогр. АН СССР, Омск, 1954, стр. 26.
 64] Э. Б. Лифшиц, Автореф. канд. дис. НИИОФ, М., 1951.
 65] H. H. Леккер, H. H. Леккер, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, ДАН СССР, 1952, 92, 1037.
 66] H. H. Леккер, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Усп. научн. фотогр., 1952, 11, 11.
 67] С. В. Натансон, ДАН СССР, 1956, 106, 437.
 68] H. H. Леккер, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, H. H. Свенцицкий, Э. Б. Лифшиц, Тр. НИИОФ, 1957, 19, 52; Expositio, Intern. Conf. Phys. Opt., 1956, Dayton, 1956, стр. 139.
 69] H. H. Леккер, Э. Б. Лифшиц, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 11, 411.

70] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Докл. на Междунар. конф. по научн. фотогр. в Льеже, 1959; Congr. et colloq. l'Univ. de Liege, Sci. Photogr., 1962, 23, 440; сб. Кинотехника, 1963, 2, 5.
 71] С. В. Натансон, Докл. на Междунар. конф. по научн. фотогр. в Льеже, 1959; Congr. et Colloq. l'Univ. de Liege, Sci. Phot., 1962, 23, 457; сб. Кинотехника, 1963, 2, 23.
 72] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 452.
 73] С. В. Натансон, H. И. Сееникова, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 34.
 74] С. В. Натансон, М. М. Костина, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 50.
 75] С. В. Натансон, Докл. на Междунар. конф. по фотогр. светочувств. в Лондоне, 1960; J. Phot. Sci., 1962, 10, 9; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 362.
 76] Э. Б. Лифшиц, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 62.
 77] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 90.
 78] С. В. Натансон, М. М. Костина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 388.
 79] М. К. Гречко, С. В. Натансон, Тр. НИКФИ, 1961, 43, 47.
 80] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Тез. докл. на Совет. по химии сенсibilизат. и сенсibil. кинофотогр. АН УССР, Киев, 1962, стр. 1.
 81] А. С. Хейнман, В. П. Донатова, С. В. Натансон, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 69.
 82] Э. Ф. Климзо, С. В. Натансон, Кинотехника, 1963, 2, 40.
 83] С. В. Натансон, H. И. Сееникова, Кинотехника, 1963, 2, 56.
 84] М. К. Гречко, С. В. Натансон, М. А. Альперович, Кинотехника, 1963, 4, 92.
 85] С. В. Натансон, H. С. Спасокукоцкий, Е. С. Козлова, ДАН СССР, 1964, 157, 1445.
 86] А. С. Хейнман, С. В. Натансон, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 216.
 87] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Докл. на XIX съезде Чехословакии Хим. общ. при ЧСАН в Брно, 1962; Chem. Listy, 1966, 60, 791.
 88] G. Scheibe, Z. Angew. Chem., 1936, 49, 563; 1937, 50, 51, 212.
 89] S. E. Sherrard, Rev. Mod. Phys., 1942, 14, 303.
 90] A. В. Борин, ДАН СССР, 1952, 86, 969, 1141.
 91] A. В. Борин, В. П. Агатицкая, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 29, 1393.
 92] A. В. Борин, И. А. Победоносцева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 256.
 93] A. В. Борин, П. Н. Залезник, И. А. Победоносцева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 401.
 94] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, ЖФХ, 1954, 28, 1572.
 95] Э. Ф. Климзо, С. В. Натансон, Тр. Госинститфотопроекта, 1968, № 1, 104.
 96] М. В. Савостьянова, Усп. хим., 1963, 32, 1233.
 97] J. Sreps, V. H. Sargolli, J. Phys. Chem., 1948, 52, 1090.
 98] С. В. Натансон, H. И. Сееникова, Тез. докл. на совет. по химии сенсibilизат. и сенсibil. кинофотогр. АН УССР, Киев, 1962, стр. 30.
 99] H. И. Сееникова, С. В. Натансон, Тр. Госинститфотопроекта, 1968, № 1, 44.
 100] С. В. Натансон, Тез. докл. на совет. по химии сенсibilизат. и сенсibil. кинофотогр. АН УССР, Киев, 1962, стр. 2.
 101] М. К. Гречко, С. В. Натансон, М. А. Альперович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 142.
 102] A. В. Борин, Э. И. Грацианская, ЖТФ, 1948, 18, 1325.
 103] A. В. Борин, Ф. А. Маковский, С. А. Излева и др. ЖТФ, 1954, 24, 1499.
 104] A. В. Борин, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 183.
 105] A. В. Борин, П. И. Логак, В. Ш. Теликова, М. В. Мишакова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 245.
 106] A. В. Борин, В. Б. Агатицкая, С. А. Излева, Авт. свид. СССР 104782.
 107] A. В. Борин, В. Л. Зеленин, А. И. Кандашчан, Авт. свид. СССР 107617 (Бюлл. изобр., 1957, № 7).
 108] A. В. Борин, С. А. Излева, И. А. Победоносцева, Авт. свид. СССР 137396 (Бюлл. изобр., 1961, № 7); Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 416.

- [109] А. В. Борин, З. И. Грацианская, Р. А. Подчищалова, ЖПХ, 1953, 26, 708.
- [110] А. В. Борин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 380.
- [111] А. В. Борин, ЖПХ, 1947, 20, 39.
- [112] А. В. Борин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 458.
- [113] Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 421.
- [114] М. К. Гречко. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1967.
- [115] Ю. Н. Гороховский, А. Я. Смирнов, В. И. Федотова, ЖФХ, 1940, 14, 188.
- [116] Б. В. Барбарин, Ю. Н. Гороховский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 419.
- [117] А. В. Борин, М. В. Мишакова, Тр. НИКФИ, 1960, 37, 95.
- [118] В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 25.
- [119] К. С. Лялик. Теория фотографических процессов. Изд. «Искусство», 1960, гл. VII.
- [120] В. Л. Зеликман, С. М. Леви. Основы синтеза и полива фотографических эмульсий. Изд. «Искусство», М., 1960, гл. I—III.
- [121] А. Н. Ходченков, М. К. Гречко, Ю. Б. Виленский, М. А. Альперович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 167.
- [122] H. Lurro-Schager, Phot. Ind., 1916, 6, 8; 1917, 7, 657; Kinetograph, 1929, 11, 399; Phot. Korrr., 1934, 70, 842.
- [123] В. Н. Cargroll, D. Hubbard, J. Res. Bur. Stand., 1932, 9, 529; 1933, 10, 211.
- [124] Ю. Н. Гороховский, А. А. Крюков, В. И. Федотова, ЖФХ, 1941, 14, 180.
- [125] И. И. Брейдо, А. А. Маркелова, Ж. научн. фотогр., 1937, 5, 21.
- [126] С. В. Натансон, Тез. докл. на Междунар. конф. по научн. фотографии в Цюрихе, 1961.
- [127] С. М. Соловьев, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 323.
- [128] А. С. Хейман, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 144.
- [129] А. С. Хейман, С. В. Натансон, Н. С. Спасокукоцкий, А. Ф. Вомпе, Р. В. Караульщикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 44.
- [130] Л. Г. Гросс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 250.
- [131] С. В. Натансон, К. И. Покровская, Э. Б. Лифшиц, Н. Н. Свешников, З. П. Смытник, Т. Г. Гневышева, М. В. Крылова, А. Ф. Вомпе, Авт. свид. СССР 104282 (Бюлл. изобр., 1965, № 3).
- [132] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, З. П. Смытник, И. И. Левкоев, К. И. Покровская, М. В. Дейчмейстер Г. Ф. Куренина, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 104783 (Бюлл. изобр., 1970, № 3).
- [133] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, ЖФХ, 1954, 28, 1572.
- [134] Э. Б. Лифшиц, З. П. Смытник, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 105640 (Бюлл. изобр., 1969, № 4).
- [135] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, К. И. Покровская, З. П. Смытник, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 110135 (Бюлл. изобр., 1958, № 3).
- [136] С. В. Натансон, М. М. Костина, Авт. свид. СССР 122023 (Бюлл. изобр., 1959, № 16).
- [137] С. В. Натансон, Н. В. Силецкая, С. И. Рыскина, А. И. Кирианов, И. К. Ушенко и др., Авт. свид. СССР 181990 (Бюлл. изобр., 1966, № 10).
- [138] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 174.
- [139] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 44.
- [140] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Кинотехника, 1963, 2, 75.
- [141] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Т. М. Лазарева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 381.
- [142] Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Д. Я. Народницкая, Л. М. Ягупольский, Н. С. Барвинь, Тр. Междунар. конф. по научной фотографии в Закопане, 1968, I, стр. 18; Тр. Госнихимфотопроекта, 1968, № 1, стр. 79.
- [143] K. Meuer, Z. wiss. Phot., 1958, 52, 170.
- [144] Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 421.
- [145] V. Hishiki, R. Taki, Repts. Inst. Phys. Chem., Res. Japan, 1959, 35, 276.
- [146] M. Ogyshi, S. Sato, K. Sakamoto, J. Soc. Sci., Phot. Japan, 1961, 24, 15.
- [147] H. Borginon, R. Berendsen, J. Phot. Sci., 1965, 13, 165.
- [148] Э. Б. Лифшиц, Т. М. Лазарева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 266.
- [149] Э. Б. Лифшиц, З. П. Смытник, Л. В. Гречко, Т. М. Петухова (Лазарева), Авт. свид. СССР 134983 (Бюлл. изобр., 1961, № 1).
- [150] Э. Б. Лифшиц, Т. М. Лазарева, Тр. Госнихимфотопроекта, 1968, № 1, 88.
- [151] Ю. Н. Гороховский, ДАН СССР, 1943, 39, 300.
- [152] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 109977 (Бюлл. изобр., 1957, № 12).
- [153] K. Meuer, H. Ulbricht, Z. wiss. Phot., 1951, 46, 72.
- [154] Ю. Б. Виленский, Р. В. Тимофеева, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 56.
- [155] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 14984 (Бюлл. изобр., 1970, № 3).
- [156] Э. Ф. Климзо, С. В. Натансон, Тр. Госнихимфотопроекта, 1968, № 1, 104.
- [157] А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, А. В. Борин и др., Авт. свид. СССР 154474 (Бюлл. изобр., 1963, № 21).
- [158] А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, А. В. Борин, Н. С. Вульфсон, Л. В. Иванова, С. И. Рыскина, Н. В. Силецкая и др., Авт. свид. СССР 163071 (Бюлл. изобр., 1964, № 11).
- [159] А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, И. В. Александров, А. С. Хейман, Н. М. Парфенова и др., Авт. свид. СССР 164526 (Бюлл. изобр., 1964, № 15).
- [160] А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, И. И. Левкоев, И. В. Александров, А. С. Хейман и др., Авт. свид. СССР 168596 (Бюлл. изобр., 1965, № 4).
- [161] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, Е. Я. Семенова, М. В. Крылова, И. В. Александров, Т. Е. Самойлова, Авт. свид. СССР 177278 (Бюлл. изобр., 1965, № 24).
- [162] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, М. В. Крылова, Е. Я. Семенова, Авт. свид. СССР 189305 (Бюлл. изобр., 1966, № 28).
- [163] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, Э. Ф. Климзо, М. В. Крылова и др., Авт. свид. 235543 (Бюлл. изобр., 1969, № 5).
- [164] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, Е. Я. Семенова, М. В. Крылова, И. В. Александров, Т. Е. Самойлова, Авт. свид. СССР 184617 (Бюлл. изобр., 1966, № 15).
- [165] А. В. Борин, С. М. Леви, Н. В. Макаров, Н. В. Мишакова, Т. М. Мошкина, А. И. Рыбникова, О. К. Смирнов, А. М. Чураева, Тез. докл. на Совещ. по химии фотогр. эмульсий АН СССР, Отд. хим. наук, Казань, 1963.
- [166] М. В. Мишакова, А. В. Борин, Т. М. Мошкина, С. М. Леви, Тез. докл. на Совещ. по химии фотогр. эмульсий АН СССР, Отд. хим. наук, Казань, 1963.
- [167] И. Б. Блюмберг, В. Н. Харченко, Фотохимпром., 1934, 2, вып. 2, 56.
- [168] А. В. Борин, Г. П. Трохимович, ЖПХ, 1946, 19, 913.
- [169] М. К. Гречко, С. В. Натансон, Э. М. Савельева, Ю. Б. Виленский, Техника кино и телевид., 1964, № 5, 27.
- [170] Е. А. Никифоров, ЖФХ, 1944, 18, 395.
- [171] С. М. Соловьев, ЖФХ, 1945, 19, 451.
- [172] С. М. Соловьев, В. А. Смирнова, ЖПХ, 1947, 20, 439.
- [173] С. М. Соловьев, С. М. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 81.
- [174] З. Л. Петрушкина, Усп. научн. фотогр., 1955, III, 152; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 413.
- [175] З. Л. Петрушкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 15.
- [176] С. В. Натансон, Н. И. Сеникова, Тр. Междунар. конф. по научн. фотографии в Закопане, 1968, I, стр. 15.
- [177] Н. И. Сеникова, С. В. Натансон, Тр. Госнихимфотопроекта, 1968, № 1, 34.
- [178] S. E. Sheppard, R. H. Lambert, H. W. Keenan, J. Phys. Chem., 1932, 36, 174.
- [179] R. Mecke, G. Semerano, Z. wiss. Phot., 1937, 36, 25.
- [180] С. В. Натансон, Тр. ГОИ, Л., 1941; Acta physicochim. URSS, 1946, 21, 430; Тр. НИКФИ, 1944, 7, 41.

- [181] К. И. Покровская, И. И. Левкоев, С. В. Натансон, ЖФХ, 1956, 30, 161.
- [182] К. И. Покровская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 133; Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 191; Тр. НИКФИ, 1960, 40, 86.
- [183] К. И. Покровская, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1966.
- [184] С. М. Соловьев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 106.
- [185] С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Тез. докл. Междунар. конф. по научн. фотографии в Цюрихе, 1961; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 300.
- [186] В. Е. Холмогоров, И. А. Акимов, ДАН СССР, 1962, 144, 402.
- [187] W. C. Needler, R. L. Griffith, W. West, Nature, 1961, 191, 902.
- [188] А. И. Киприанов, Г. Т. Пизюгин, Уч. зап. ХГУ, 1937, 10, 104.
- [189] А. И. Киприанов, С. Г. Фридман, Л. С. Пупко, Сб. научн. работ Инст. орг. хим., 1947, 13, 40.
- [190] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1950, 75, 231.
- [191] Н. С. Спасокукоцкий, Е. С. Козлова, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 70.
- [192] Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Л. М. Ягупольский, Н. С. Барвинь, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 175.
- [193] Э. Б. Лифшиц, Н. С. Спасокукоцкий, Л. М. Ягупольский, Е. С. Козлова, Д. Я. Народицкая, И. И. Левкоев, ЖОХ, 1968, 38, 2025.
- [194] Э. Б. Лифшиц, Л. М. Ягупольский, Д. Я. Народицкая, в сб.: Реакционная способность, Tartu, 1969, 6, 317.
- [195] З. П. Докучаева, А. А. Садикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 350.
- [196] Я. И. Бокник, Оптическая сенсibilизация. Изд. «Искусство», М., 1937, стр. 126, 133.
- [197] Р. В. Чубаров, Фотохимпром., 1936, № 1, 32.
- [198] Х. С. Багдасарьян, ЖФХ, 1945, 19, 266; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 381.
- [199] S. Dähne, Z. wiss. Phot., 1966, 59, 113.
- [200] М. Тамига, Н. Нада, Phot. Sci. Eng., 1967, 11, 82.
- [201] И. И. Брейдо, Ю. Н. Гороховский, ЖФХ, 1943, 17, 57; ДАН СССР, 1943, 39, 395.
- [202] Ю. Н. Гороховский, А. Х. Сарбаш, см. [54], стр. 183.
- [203] П. В. Мейклар, М. Д. Мирмилштейн-Эберман, А. А. Садикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 401.
- [204] А. В. Борин, З. В. Харитонова, П. И. Логак, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 298; 1964, 9, 215.
- [205] А. С. Хейнман, В. П. Донатова, Л. Н. Бочарова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 61.
- [206] Л. Г. Гросс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 54.
- [207] А. С. Хейнман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 297; 1961, 6, 142.
- [208] А. С. Хейнман, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 219; Усп. научн. фотогр., 1970, XIV, 99.
- [209] И. А. Акимов, А. В. Шабли, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 6, 459.
- [210] Tani Tadaaki, Kicucki Shin, Hoda Ken, Phot. Sci. Eng., 1968, 12, 80.
- [211] L. G. S. Brooker, L. F. White, D. W. Heseltine, G. H. Keyes, S. G. Dent, E. G. von Lage, J. Phot. Sci., 1953, 1, 173.
- [212] K. N. Davies, A. K. Holliday, Trans. Far. Soc., 1952, 48, 1067.
- [213] А. Н. Теренин, Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений, изд. «Наука», Л., 1967.

И. И. ЛЕВКОВ

ХИМИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Введение

Фотографические свойства галогенидосеребряных кинофотоматериалов в большой степени зависят от строения специальных органических веществ самого различного назначения, вводимых в эмульсионные и вспомогательные слои или применяемых в процессе обработки. Ряд важных фотографических процессов основан на использовании светочувствительности разнообразных органических соединений.

Значительные работы по синтезу и исследованию органических веществ для фотографических процессов, например проявляющих веществ и оптических сенсibilизаторов, за границей проводили поэтому еще в середине второй половины XIX в.

В дореволюционной России, за исключением важных работ Н. А. Шилова и его сотр., в частности Я. М. Катусева, по химии фотографического проявления (1912—1915 гг.) [1], исследования в этой области практически не проводили.

Они были начаты после Октябрьской революции и были тесно связаны с организацией и развитием отечественной химико-фотографической промышленности.

С 1924 г. по заданию НТО ВСНХ в Институте химических реактивов, которым руководил В. В. Лонгинов, были начаты работы по синтезу и разработке технологии получения проявляющих веществ и простейших оптических сенсibilизаторов [2, 3]. В результате этой работы на химико-фармацевтических заводах было организовано производство первого сенсibilизатора — эритрозина [4], а также гидрохинона, *n*-аминофенола, метола и других [2, 3, 5—7]. По синтезу проявляющих веществ в этот период исследования велись также в Харьковском институте прикладной химии (ХИПХ) [8].

В 1930—1931 гг. были начаты работы по синтезу и исследованию оптических сенсibilизаторов цианинового ряда в МВТУ, НИКФИ [9, 10] и ИРЕА [2, 3], а с 1932 г. в Харькове сначала в ХИПХ [11], а затем в Харьковском университете, Украинском институте метрологии и стандартизации [12] и в Харьковском химико-технологическом институте. В 1934—1936 гг. в НИКФИ, МВТУ, ГОИ, на киноплочных предприятиях и в ИРЕА были развернуты исследования некоторых других органических соединений для получения и обработки кинофотоматериалов — десенсibilизаторов, смачивателей, фильтровых красителей, светочувствительных диазосоединений, а в ГОИ, НИКФИ, ЛТИ им. Ленсовета и на киностудии «Мосфильм» — также по специальным соединениям для

цветных фотографических процессов — цветным проявляющим веществам и компонентам, обеспечивающимся и гидротипным красителям.

Особенно большой размах эти работы получили в послевоенный период, когда в них включились НИОПиК, ИОХ АН УССР, Киевский университет и ЛИКИ, а с 1956 г. также Шосткинский и Казанский филиалы НИКФИ. Исследования были посвящены новым важным группам органических соединений, например дубителям, осадителям твердой фазы, пластификаторам, проявляющим и отбеливающим веществам и др. С 1958 г. эти работы координируются на специальных ежегодных совещаниях, проводимых в НИКФИ, а с 1967 г. в Госниихимфотопроекте.

Была разработана технология получения более 200 сложных органических химикатов для получения и обработки кинофотоматериалов. По решению правительства был создан специальный завод, который с 1948 г. начал производство этих веществ и в настоящее время обеспечивает ими промышленность.

Было организовано также производство особо сложных химикатов, например оптических сенсibilизаторов [2, 3, 13—15].

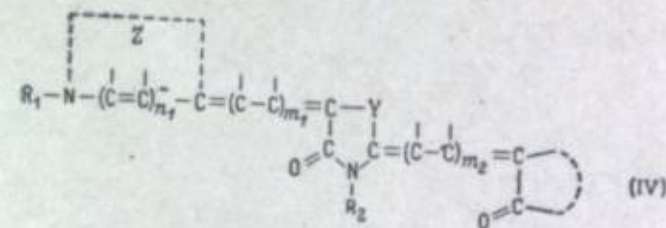
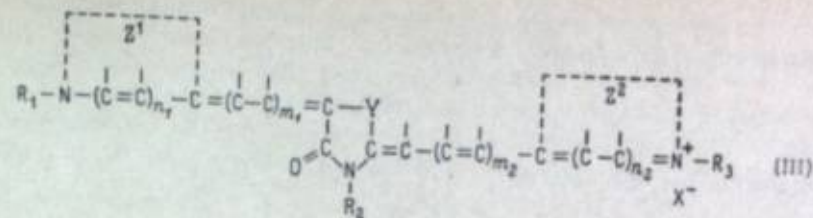
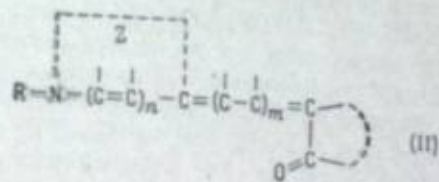
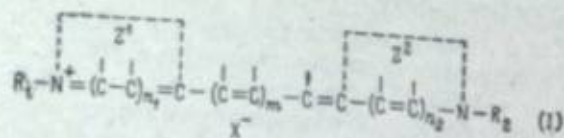
В настоящем сообщении рассматриваются работы, проведенные в Советском Союзе по синтезу и исследованию некоторых групп специальных органических веществ, вводимых в эмульсионные или вспомогательные слои кинофотоматериалов, которые определяют их фотографические свойства. Работы по веществам, вводимым в основу кинофотоматериалов, а также используемым для бессеребряных фото процессов в сообщении не затрагиваются.

Оптические сенсibilизаторы

В 1931—1932 гг. в НИКФИ и МВТУ под руководством М. Н. Щукиной и Н. А. Преображенского был разработан синтез цианиновых красителей с остатками хинолина, аналогичных выпускавшимся за границей [9, 10]. В результате исследования К. В. Чибисовым и В. С. Чельцовым с соотр. свойств этих красителей, а также эритрозины в СССР началось производство кинофотоматериалов, чувствительных к различным частям спектра [16—19].

Значительный прогресс был достигнут в результате применения некоторых цианинов, производных бензотиазола и бензоксазола, синтезированных в ХИПХ и НИКФИ (см., например, [20—23]).

В последующие годы в основном в НИКФИ, ИОХ АН УССР (до войны в ХГУ, ХХТИ и МВТУ), а также в Киевском университете с целью изыскания более совершенных сенсibilизаторов были проведены весьма значительные систематические работы по синтезу и исследованию различных групп полиметиновых красителей: симметричных и несимметричных цианинов (типа I), мероцианинов (типа II), а после войны также рода цианинов (типа III), димероцианинов (типа IV) и других (см., например, [15, 24—68]).



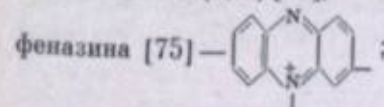
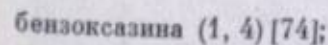
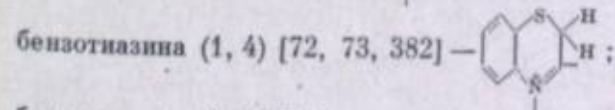
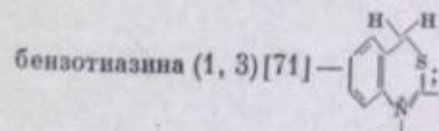
До 1938—1939 гг. в основном изучали зависимости между строением красителей и их окраской, вызываемым ими суммарным эффектом оптической сенсibilизации и некоторыми другими фотографическими свойствами полученных светочувствительных слоев (вуаль, сохраняемость).

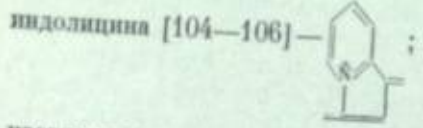
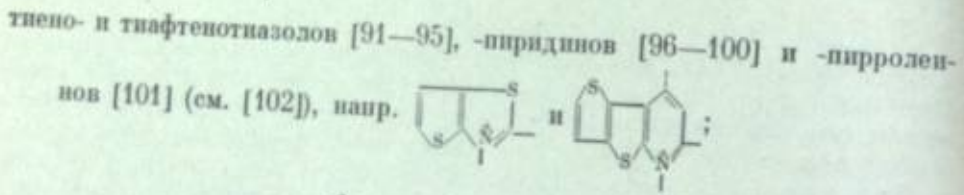
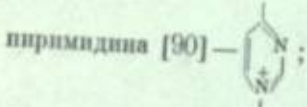
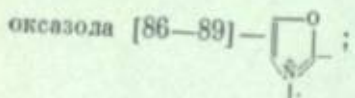
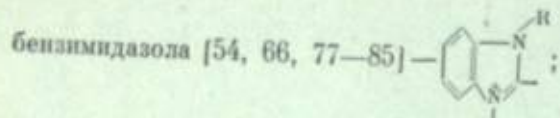
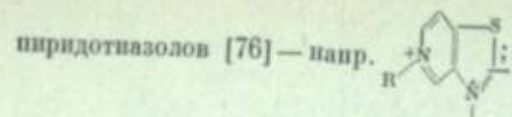
За последние 20—25 лет в работах по синтезу все в большей степени учитывают различные взаимовлияющие физико-химические факторы, которые, как было выяснено в основном в результате работ НИКФИ, ГОИ и ЛИКИ, и определяют наблюдаемое сенсibilизирующее действие — адсорбцию красителей на галогенидах серебра и ее прочность, образование ими в адсорбционном слое тех или иных агрегатных состояний, фотохимическую активность последних, десенсibilизирующее действие сенсibilизаторов, влияние на все эти свойства эмульсионных факторов, присутствие в эмульсии различных веществ (например, смачивателей, стабилизаторов, цветных компонент) и т. п.

Как оказалось, указанные свойства красителей в большой, часто в решающей степени зависят от их тонкого электронного строения, основности, степени гидрофильности и плоскостности их молекул [45, 46, 54, 57, 63, 66, 67, 69, 70].

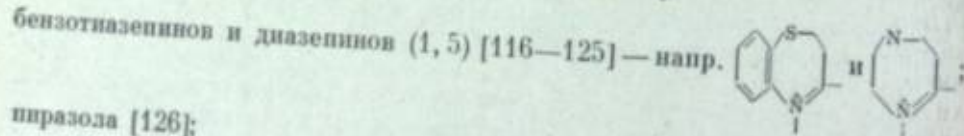
Было изучено влияние на вышеуказанные свойства полиметиновых красителей типов I—IV природы входящих в их состав гетероциклических остатков (Z), присутствия различных группировок в этих остатках и полиметиновой цепи, длины последней.

Кроме производных, теперь уже хорошо известных оснований, например бензотиазола, бензселеназола, бензоксазола, индолина, хинолина, тиазола, тиазолина и других, были синтезированы и исследованы красители с остатками новых гетероциклов:

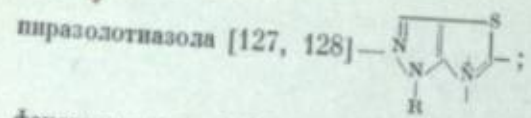




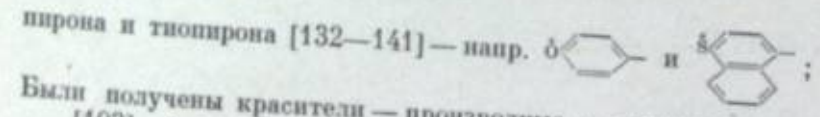
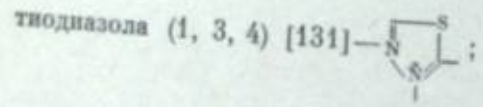
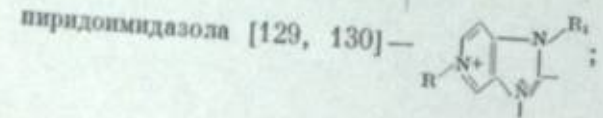
изоэлектронных аналогов индолицина [107—115] [например, пирроло-(2,1-*b*)тиазола и пирроло-(1,2-*a*)бензимидазола];



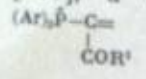
пиразола [126];



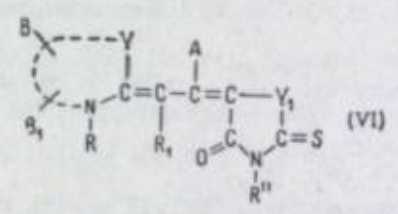
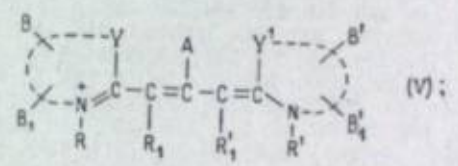
феназинотиазола [380] и -имидазола [381];



Были получены красители — производные и других гетероциклов, напр. [103], а также некоторые фосфоцианины [142—144] с остатком:

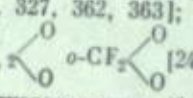


В вышеуказанных организациях весьма подробно изучались влияние на фотографические свойства красителей типов I—IV электронного характера и положения самых разнообразных заместителей в их гетероостатках, в частности у циклических атомов азота, и в полиметиновой цепи, например в случае красителей типов V и VI. Количество синтезированных и исследованных красителей исчисляется тысячами.



Возможные заместители:
 Y, Y' — O, S, Se, CR₂=CR₃, NR₄, C(CH₃)₂ и др.
 Y₁ — O, S, Se, NR₄;
 A — H, CH₃, C₂H₅ [11, 12, 15, 25, 35, 54, 57, 66, 145—152]; высшие алкилы [54, 66, 147, 153]; циклоалкил [154]; AlkOCH₂ [147]; AlkSCH₂ [155]; FCH₂ [156]; Ar [35, 50, 54, 145, 147, 149, 150, 157—162]; α-C₆H₅O, α-C₆H₅S; бензофурил [158, 159]; AlkO [54, 149, 163—168]; SO₂O(CH₂)₂ [169]; ArO [149, 168—171]; AlkS [149, 163, 168]; NH₂ [54, 66]; AlkNH, (Alk)₂N, ArNH [54, 149, 163, 166—168]; C₆H₅N [149, 156, 163, 166—168]; Ar(Alk)N [163, 166, 167, 172]; CH₃CON(Alk), CH₃CON(Ar) [54, 163, 166, 167]; NC, NO₂, HOOC, H₂NCO, C₆H₅OOC [54, 173]; SO₃ [149, 168]; бензотиазол (2) [158, 159]; азолидинтион (2)он-(4)-ил (5) [149, 168]; F [156]; Cl [174].
 R₁, R₁' — H, CH₃, C₂H₅, C₆H₅, C₆H₇, C₆H₉ [44, 152, 161, 175—179, 343]; (CH₂)_{1, 2, 3} [349]; AlkO [180, 181, 343]; ArO [180]; HO, CH₃COO [182]; AcNH [183—185]; AcN(CH₃) [185]; CHO [149, 150]; NC, CH₃CO, C₆H₅OOC [186]; C₆H₅N⁺ [185]; азолидинтион (2)он-(4)-илден(5)-CH [187]; F [156, 188]; Cl, Br [161, 175, 343].
 R₁ и R₁' вместе —(CH₂)_{0, 1, 2, 3, 4} [44, 54, 176, 177, 181, 189—196, 383, 384]; (C₂H₄)₂O [181]; O [197]; CH=CH [198].
 R₁ и A вместе —(CH₂)_{2, 4}; o-C₆H₄CH₂ [159]; R₂R₃—H; R₂ и R₃ вместе — бензo-группа [199, 200]; R₄ — алкил, Ar; H (при Y₁ — NR₄).
 R, R', R'' — алкил; HOOC, H₂N, NC-CH₂CH₂, CH₃CONHC₂H₅, CH₃COOC₂H₅ [66]; HOOC(CH₂)_{1, 2, 3} [54, 57, 66, 191, 201, 202]; [C₆H₅OOC(CH₂)_{1, 2, 3}] [66]; AlkOOC(CH₂)_{4, 3} [203]; SO₃C₆H₄ [57, 66, 204]; HS(CH₂)_{2, 3} [205]; бензотиазола (2) CH₂ [206], циклогексил [179, 207], Ar [44, 54, 175—179, 190, 191, 208—220].
 R и R' вместе —(CH₂)_n [221, 222].
 R и R₁, R' и R₁' вместе C_nH_{2n} (n=2, 3, 4) [223—227]; CH₂CH₂O, CH₂CH₂S [228, 229]; o-C₆H₄ [230]; o-C₆H₄(CH₂)_{1, 2} [231, 232]; o-C₆H₄S [233]; o-C₆H₄Se [234]; o-C₆H₄N(COCH₃)CH₂ [232]; o-C₆H₄SCH₂ [232].
 B, B₁, B', B₁' — H; CH₃ [11, 12, 34, 35, 36, 44, 54, 57, 62, 66, 85, 131, 145, 147, 189, 208, 212, 235—240]; C₆H₅ [35, 36, 54, 238, 241, 242]; i-C₃H₇ [241]; *meta*-C₆H₅ [238, 242—244]; F₃C [54, 66, 79, 85, 245—250]; F₂C₂ [334]; HOCH₂, CH₃OCH₂, HOOC₂H₅, CH₃OC₂H₅ [251]; CH₃COOC₂H₅ [252]; C₆H₅OOCCH₂ [252]; NC-CHClCH₂ [253]; CH₃OOC-CCl(CH₃)CH₂ [254]; (CH₂)₂C=CH [254]; F₃C-CH=CH, F₃C-CF=CF [82, 85, 250, 255]; NC-CH=CH [253, 254]; HOOC-CH=CH, CH₃OOC-CH=CH, HOOC-C(CH₂)=CH [254]; F₂CSO₂CH=CH [82]; CH₃(CH=CH)₂ [256]; Ar [540, 87—89, 186, 240, 257—274, 300, 383]; C₆H₅CHBr-CHBr [285]; Ar (CH=CH)_{1, 2} [256, 261, 275—284]; C₆H₅CH=C(C₆H₅) [254, 279]; C₆H₅C≡C [285]; α-C₆H₅O [261, 286]; бензофурил (2) [261, 268, 286]; C₆H₅S [269, 286, 287]; тиоафтенил [261, 286]; кумаринил (3) [278]; α-C₆H₅S-CH=CH [256, 275, 277, 278]; HO [34—36, 54, 212, 288—293]; AlkO [10—12, 28, 31, 34—36, 54, 57, 62, 66, 85, 147, 193, 201, 214, 219, 250, 290—301]; C₆H₅CH₂O [54, 57, 66, 295]; F₂CO [66, 85, 246, 249, 250, 302—304]; C₆H₅OOCCH₂O, HOOC-CH₂O [295]; C₆H₅O [54, 295];

AcO [34—36, 54, 66, 288—291, 293]; HS [34, 288]; AlkS [34—36, 54, 62, 155, 288, 290, 303]; F₃CS [85, 246, 250, 303—308]; NH₂ [34—36, 54, 66, 147, 177, 183, 238, 242, 243, 288, 290, 292, 297, 299, 303, 309—319]; AlkNH [34, 183, 288, 312, 316—318]; (Alk)₂N [15, 25, 28, 34—36, 54, 66, 147, 183, 242, 243, 288, 290, 299, 309, 312, 314, 316—328]; C₆H₅CH₂N(C₆H₅) [288]; C₆H₅NH [34, 288, 309, 310]; (Alk)₃N⁺ [319, 325, 326, 342]; AcNH [15, 28, 34—36, 54, 57, 62, 66, 85, 147, 183, 288, 290, 298, 299, 303, 309—319, 325, 347]; o-C₆H₄(CO)₂N [348]; C₆H₅NHCSNH, C₆H₅CH₂NHCS·NH, C₆H₅NH·C(SC₆H₅)=N, C₆H₅CH₂NHC(SC₆H₅)=N [36, 329, 330]; CH₃CON(CH₃) [54, 57, 316 317]; CH₃SO₂NH [35, 36, 54, 313]; n-CH₃C₆H₄SO₂NH [183, 288, 316, 317]; n-CH₃C₆H₄SO₂N(CH₃) [183, 316, 317]; F [50, 54, 66, 85, 245, 246, 249, 250, 304, 331—333]; Cl [35, 36, 54, 56, 66, 70, 85, 219, 247, 249, 250, 299, 300, 303, 309, 310, 312, 314, 315, 318, 332, 335—341]; Br [54, 85, 220, 249, 298, 332]; I [54, 288, 290, 303, 332]; CHO [344]; CH₃CO [345]; C₆H₅CO [346]; NC [34, 54, 62, 69, 85, 249, 290, 350]; HOOC, AlkOOC [34, 54, 62, 66, 69, 85, 249, 290, 298, 350, 351]; H₂N·CO [34, 69, 350]; C₆H₅NHCO [85]; F₂C·SO [85, 249, 250, 307, 308, 333, 352]; F₃C·SO₂ [66, 78, 79, 85, 246, 248—250, 333, 352]; F₃CSO₂CH₂SO₂ [80]; HSO₂ [34, 350]; AlkOSO₂, ArOSO₂ [350]; Cl SO₂ [34]; FSO₂ [85, 249, 307]; H₂NSO₂ [34, 69, 350]; Ar NHSO₂ [34, 69]; (Alk)₂NSO₂ [249, 350]; NO₂ [34, 54, 62, 66, 69, 85, 238, 290, 311, 314, 315, 318, 323, 350, 351]; ферроцил [353]; тиазолл (4 или 5) [345, 354]; бензотиазолл (2) [83—85, 355, 356, 420]; бензимидазолл (2) [357]; бензоксазолл [358].

В и В₁, В¹ и В₁¹ вместе —(CH₂)_{2, 4} [54, 292, 359]; (CF₂)₂O [308]; o-C₆H₄CH₂ [360]; o-C₆H₄CH₂CH₂ [361]; бензогруппа [10—12, 15, 23, 28, 35, 36, 38, 49, 54, 62, 67, 122, 202, 204, 211—213, 291, 327, 362, 363]; нафтгруппа [36, 364]; аценафтенгруппа [365—368, 293]; o-(CH₂)_{1, 2}  [246, 308, 369]; o-(CH₂)₂(CO)₂ [370]; o-C₆H₄(CO)₂ [338, 371—373]; 2-метилтиазологруппа (4, 5) [374—378]; тиазолбензогруппа [379]; имидазолгруппа [378, 421, 422]; оксазолгруппа [423]; тиадиазологруппа-(1,2,5) [424, 425] и-(1,2,3) [426]; селенидиазологруппа (1,2,5) [424, 425]; триазологруппа (1,2,3) [421, 425]; пирразин-группа [425].
В₁ и R, В₁¹ и R' вместе —(CH₂)₂ [384];
X — кислотный остаток [35, 385].

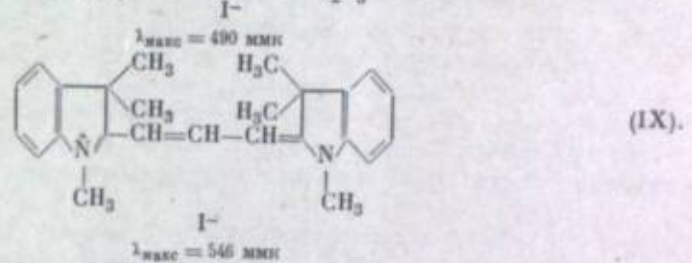
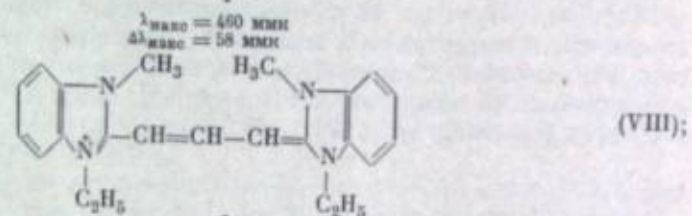
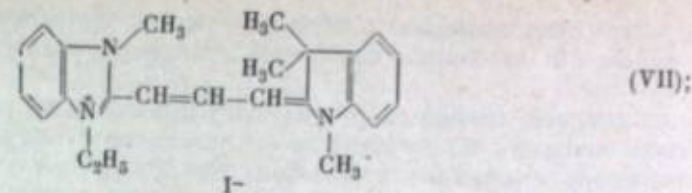
При этом было показано, что часто даже незначительные изменения в строении красителей могут весьма сильно влиять на их свойства, например на способность образовывать те или другие агрегатные состояния на поверхности эмульсионных микрокристаллов, на прочность их адсорбции на последних, на суммарный эффект оптической сенсibilизации, на изменение этого эффекта под влиянием эмульсионных факторов.

Как известно, максимум сенсibilизации, отвечающий мономолекулярному состоянию красителей, обычно смещен относительно максимума поглощения их спиртовых растворов на 30—50 мкм в длинноволновую область.

Поэтому для получения сенсibilизаторов с определенной зоной чувствления в Харьковском университете и позднее в ИОХ АН УССР, а также в НИКФИ проводили систематическое изучение окраски полиметиновых красителей в зависимости от их строения.

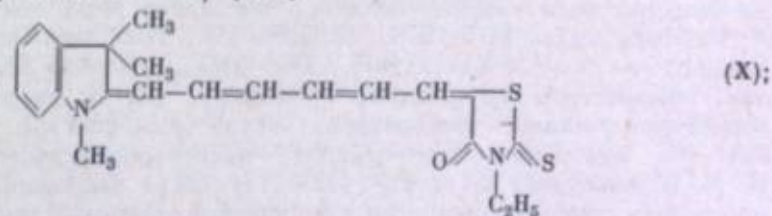
При этом был установлен и объяснен ряд важных положений, которые являются серьезным вкладом в современную теорию цветности органических соединений [68, 386].

Еще в 1937 г. А. И. Киприановым и Г. Т. Пилюгиным было показано, что максимум поглощения несимметричных карбоцианинов, гетеро-остатки которых существенно различаются между собой по основности (например, тип VII), смещен в коротковолновую область по сравнению с вычисленным — среднеарифметической величиной из максимумов поглощения соответствующих симметричных красителей (например, типы VIII и IX), что связано с нарушением в их хромофоре равномерности распределения электронной плотности [147, 387—390]. Следует напомнить, что первая работа в этой области докладывалась на II совещании по научной фотографии [25]. Те же выводы были сделаны Л. Брукером лишь в 1942 г. [391].

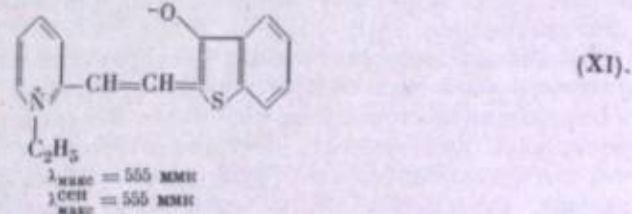


Распространение представлений о зависимости окраски от равномерности распределения электронной плотности в хромофоре на внутрионные красители, в частности на мероцианины, позволили оценивать их электронное строение и не только выяснить причины наблюдаемых закономерностей, но и объяснить такое важное явление, как сольватохромия — изменение окраски внутрионных красителей в различных растворителях (см., например, [25, 392—398]; ср. [399, 400]).

Эти данные оказались весьма важными для синтеза мероцианинов с заданной зоной сенсibilизации. Как было показано при адсорбции этих красителей на AgHal, в результате поляризующего действия последнего их строение становится значительно ближе к внутрионному, чем в спиртовом растворе. Поэтому сдвиг максимума сенсibilизации по сравнению с максимумом поглощения в спиртовых растворах в случае малополярных мероцианинов из-за выравнивания в них при адсорбции электронной плотности в хромофоре резко возрастает (у типа X почти до 190 мкм), а у сильно полярных, наоборот, уменьшается или вообще не имеет места (у типа XI — O) [401].



$\lambda_{\text{макс}} = 606 \text{ мкм}$
 $\lambda_{\text{сент}} = 796 \text{ мкм}$
 $\lambda_{\text{макс}} = 796 \text{ мкм}$

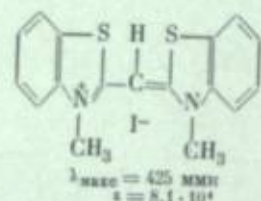


$\lambda_{\text{макс}} = 555 \text{ мкм}$
 $\lambda_{\text{сент}} = 555 \text{ мкм}$
 $\lambda_{\text{макс}} = 555 \text{ мкм}$

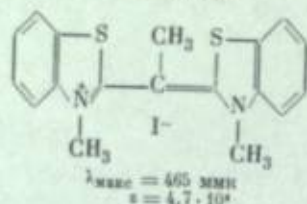
Эти представления позволили также вскрыть зависимости между окраской и строением еще более сложных красителей — родацианинов [45—46].

Следующим важным результатом проведенных работ является выяснение влияния на окраску и ее интенсивность пространственных препятствий, возникающих в молекулах красителей.

Еще в 1947 г. А. И. Киприановым было показано [44, 175], что нарушение в симметричных цианинах плоскостности хромофора в результате уменьшения в нем сопряжения приводит к углублению окраски и понижению ее интенсивности (например, типы XII и XIII) [50, 58, 69, 176, 177, 402—406; ср. 407].



(XII);



(XIII).

В несимметричных красителях, если в результате пространственных препятствий происходит поворот по связи, близкой к простой, из-за дальнейшего увеличения неравномерности распределения электронной плотности в хромофоре возникает гипсохромный эффект. В тех же случаях, когда поворот происходит по связи, приближающейся к двойной, наблюдается углубление окраски. Следует отметить, что красители с сильно некопланарным хромофором практически не проявляют сенсibilизирующего действия [54] (ср. [408]).

Было показано также, что нарушение из-за пространственных препятствий сопряжения ауксохромных групп с хромофором всегда приводит к повышению окраски красителей [36, 177, 238, 241—243, 316, 317, 403].

Весьма интересным и важным является также вопрос о взаимодействии двух хромофорных систем, имеющих в красителях, серьезное исследование которого впервые начато в последние годы под руководством А. И. Киприанова [375—378, 386, 409—411]. Как было показано, в определенных случаях в результате такого взаимодействия полосы поглощения, соответствующие каждому хромофору, как бы раздвигаются соответственно в длинно- и коротковолновую части спектра, что и должно быть на основании проведенных квантовомеханических расчетов. В. А. Измаильским с сотр. [412—417] было выяснено, что окраска может существенно изменяться в результате взаимодействия и формально несопряженных хромофоров, а также межмолекулярного взаимодействия в растворах некоторых веществ, например подалкилатов хинолина и диметиланилина [418, 419].

Обобщение многочисленных экспериментальных данных по фотографическим свойствам полиметиновых красителей, несмотря на то что они в определенной степени все еще носят эмпирический характер, позволило установить ряд важных, достаточно общих закономерностей. Главное, что для отдельных типов и групп красителей из ряда факторов, обуславливающих суммарный эффект оптической сенсibilизации, часто удается

выделить основной, определяющий изменение этого эффекта при введении определенных заместителей или других измерениях строения [54, 57, 62, 63, 66, 69, 77, 85, 249, 300, 332, 333].

В свою очередь это дало возможность не только выбирать красители для очувствления определенных сортов кинофотоматериалов, но и синтезировать сенсibilизаторы с заданными фотографическими свойствами.

Так, выяснение влияния различных элементов строения карбоцианинов на их склонность к полимеризации, в частности к *J*-агрегации [35, 37, 54, 85, 249, 332], в том числе подавления этой способности при утяжелении заместителей и ее увеличения при повышении гидрофильности последних, позволяет синтезировать красители, очувствляющие эмульсии к определенным частям спектра.

Была также установлена зависимость сенсibilизирующего действия карбоцианинов от электронного характера заместителей в гетероостатках и основности последних [54, 66, 69]. Введение в гетероостатки (в *n*-положения к атомам азота) электронодонорных заместителей вызывает повышение эффективности мало- и среднеосновных карбоцианинов и понижение ее у высокоосновных красителей этого ряда. Введение же электроноакцепторных группировок, наоборот, обуславливает резкое снижение сенсibilизирующего действия в первом случае и значительное увеличение во втором.

На основании этих результатов были развернуты работы по карбоцианинам — производным бензимидазола, причем получены весьма интересные сенсibilизаторы [78, 82, 84, 85].

В результате всех этих исследований было найдено много эффективных оптических сенсibilизаторов для различных частей спектра, успешно используемых в производстве цветных и черно-белых кинофотоматериалов.

В процессе проведения этих работ было открыто и разработано значительное число оригинальных методов синтеза сенсibilизирующих красителей и их промежуточных продуктов, на которое выдано более 100 авторских свидетельств; ряд из них широко применяется.

Из этих интересных исследований, учитывая характер совещания, в данном сообщении приходится ограничиться упоминанием следующих вопросов:

- 1) образование карбоцианинов при окислении четвертичных солей дигетероциклипропанов [427];
- 2) получение четвертичных солей β-алкоксиалкенильных производных гетероциклических оснований и их виниловых гомологов [164, 428—431];
- 3) синтез из них красителей [164, 432—448], в частности с алкоксигруппой в полиметиновой цепи и ее обмене на различные группировки [163, 166, 167, 449, 450];
- 4) новые методы получения замещенных пиридинов [451—454] и изучение размыкания последних и превращений образующихся при этом соединений [451, 452, 455—459] и их использовании для синтеза трикарбоцианинов [451, 460, 461];
- 5) расщеплении γ-алкоксипириллиновых, -тиопириллиновых и -флавилиновых солей некоторыми неклеофильными реагентами [132, 134, 137, 138, 140, 462—463];
- 6) новом методе синтеза родацианинов [59, 166, 464—466];
- 7) исследовании действия фосгена и хлорокси фосфора на гетероциклические амидные системы и реакций образующихся при этом хлор- и хлоралкенильных производных [135, 136, 149—151, 168, 174, 187, 447, 467—474];
- 8) получении норцианинов [117, 118, 120—125, 382, 475], аналогов цианинов с разветвленным хромофором [476—478];
- 9) непосредственном синтезе четвертичных солей бензтиазолов из *N*-замещенных *o*-аминотиофенолов [178, 179, 181, 193, 197, 207, 208, 384, 479—481];
- 10) превращении метиленовых производных гетероциклических оснований [115, 172, 482—487];
- 11) получении семичленных циклов — тиазепинов и диазепинов [116—119, 122—125, 475, 488—492]; тиено-, тионафено-

и трифенилметилена [493—500], гетероциклотриазолов реакцией Гантца [127, 128, 501—507], *N*-арилливолюлиновых солей [209—214, 218—220, 508—514]; 13) новых пути синтеза и применения для получения красителей производных и аналогов глутаконового альдегида [515—524] и его циклических гомологов [525—530]; 14) разработке методов получения анионных хинолинов [3, 531—540].

Несмотря на весьма большой объем проведенных работ по изысканию новых оптических сенсibilизаторов, нельзя сделать вывод о том, что известные и применяемые красители уже обладают предельно оптимальными свойствами, ввиду чего интенсивные исследования в этой области должны продолжаться.

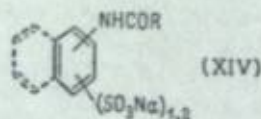
Для еще более целенаправленного синтеза этих красителей необходимо усиление работ не только по установлению механизма оптической сенсibilизации, но и по значительно более глубокому исследованию влияния строения красителей на их различные свойства.

Активаторы оптической сенсibilизации

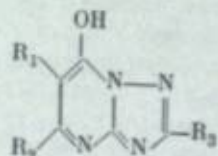
Как было показано в сообщении С. В. Натансон [541], в обычных галогенидосеребряных эмульсиях, особенно содержащих сравнительно большое количество избыточных ионов брома, потенциальные возможности сенсibilизаторов часто используются лишь в малой степени [63, 67].

Поэтому сначала в НИКФИ, а затем также в НИОПиК были начаты работы по изысканию активаторов оптической сенсibilизации.

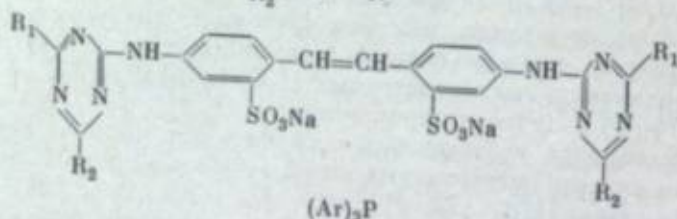
При этом было выяснено, что некоторые поверхностно-активные ароматические сульфо- и карбоновые кислоты, содержащие алкильные группы с большим числом углеродных атомов (типа XIV), в частности многие цветные недиффундирующие компоненты, могут значительно повышать эффективность некоторых карбо- [542—544] и поликарбонцианиновых [545, 546] и роданицининовых [547, 548] красителей. При этом выявили очень большую специфичность и избирательность действия указанных активаторов — даже незначительные изменения в строении красителей часто приводят к резкому уменьшению или, наоборот, к повышению их способности к активации.



(XIV)



(XV);



(XVI);

(Ar)₂P

(XVII).

В дальнейшем было показано, что некоторые производные 7-окси-1,3,4-триазаиндолина, содержащие углеводородные остатки в положе-

ниях 2,5 или 6 (типа XV), подавляя эффективность многих сенсibilизаторов, могут значительно повышать сенсibilизирующее действие других красителей [549].

Наконец, были исследованы различные производные 4,4'-диамино-стильбен-2,2'-дисульфокислоты, предложенные в некоторых патентах в качестве активаторов для отдельных групп красителей.

Оказалось, что активирующее действие особенно заметно проявляется у солей замещенных 4,4'-бис-(триазилил-2''-амино)-стильбен-2,2'-сульфокислот (типа XVI). При этом оно в очень большой степени зависит как от строения красителей, так и от природы заместителей в триазилильных остатках активатора. Соединения типа XVI особенно значительно повышают сенсibilизирующее действие ди- и поликарбонцианинов, хотя далеко и не всех красителей этих групп [550—552]. Эти вещества оказывают активирующее действие также на некоторые карбонцианины [553] и красители, в которых полиметиновая цепь ограничена триарилфосфониевой группировкой [554].

Было также показано, что некоторые триарилфосфины (типа XVII) могут существенно увеличивать эффективность отдельных групп полиметиновых красителей с достаточно длинной полиметиновой цепью [555—557].

Механизм активирующего действия вышеуказанных веществ пока не может считаться достаточно выясненным (ср. [558]).

Органические химические сенсibilизаторы

В области химических сенсibilизаторов весьма значительные работы были проведены по синтезу и исследованию полиалкиленгликолевых эфиров (типа XVIII) и выяснению механизма действия этих соединений.



Были синтезированы полиэтиленгликолевые эфиры как с резко различным молекулярным весом, так и содержащие по концам цепи разные группировки, причем в некоторых случаях выделялись вполне индивидуальные соединения (например, [559—563]). Эти вещества вводили как в фотографические эмульсии, так и в проявляющие растворы [564, 565].

При этом было выяснено, что рост светочувствительности наблюдается при повышении молекулярного веса указанных эфиров, особенно резко при увеличении количества этиленгликолевых остатков от 10 до 20 [565, 566]. Оптимальное количество этих остатков зависит от природы группировок по концам цепи, которая, однако, не оказывает на сенсibilизирующее действие решающего значения [567].

Соединения типа XVIII повышают чувствительность иодобромосеребряных эмульсий, но практически не оказывают влияния на бромосеребряные или содержащие менее 2% AgI [568—570].

Изучали механизм действия полиэтиленгликолевых эфиров [570—573]. При том было показано, что действие этих соединений можно разделить на две стадии:

- 1) влияние на индукционный период проявления, которое зависит от строения проявляющего вещества;
- 2) влияние на величину D_{max} и на скорость дальнейшего проявления, которая обычно увеличивается.

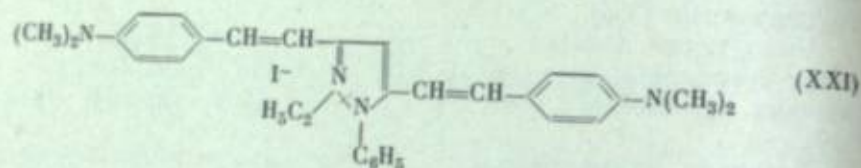
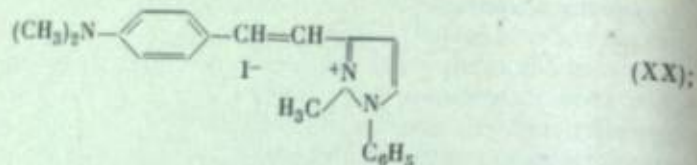
Механизм действия полиэфиров типа XVIII еще не может считаться полностью выясненным.

Исследовали также влияние полиэтиленгликолевых эфиров на свойства ядерных эмульсий [574], структурные характеристики проявленных изображений [575] и спектры гранулярности негативных пленок [576] на

окислительно-восстановительный потенциал системы закисного и окисного железа [577].

Выяснена зависимость между молекулярным весом и адсорбционными свойствами этих соединений [578].

Подробно изучали влияние на свойства фотоэмульсий, в основном ядерных, триэтанолamina (типа XIX) [579—587], а также ряда стирольных красителей (типа XX и XXI) [126, 588, 589]:



Повышение чувствительности слоев, часто наблюдаемое в присутствии этих веществ, связано, очевидно, с некоторыми физическими и химическими процессами. При этом вряд ли в них основное значение имеют восстановительные свойства соединений (типа XIX—XXI), так как очень близкие им по строению вещества, являющиеся даже более сильными восстановителями, не оказывают влияния на светочувствительность эмульсий. Желательно дальнейшее изучение механизма действия указанных соединений.

Стабилизаторы фотографических эмульсий и антивуалирующие вещества

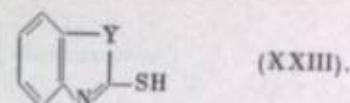
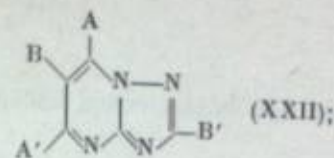
Значительные работы были проведены по изучению старения фотографических материалов и изысканию стабилизаторов и антивуалирующих веществ.

Первоначально было показано, что старение многих фотографических слоев связано с замедленным продолжением второго созревания [590]. Было выяснено также, что светочувствительность фотоматериалов при хранении может снижаться в результате диффузии кислоты подслоя в эмульсионные слои [591—593]. Отмечалось, что сохраняемость эмульсионных слоев улучшается при повышении содержания в них избыточных ионов брома [594—596].

Позднее было выяснено, что при хранении некоторых высокочувствительных сенсibilизированных фотоматериалов наблюдается снижение их светочувствительности без роста вуали — происходит так называемое аномальное старение [597]. Исследованию этого вида старения, которое зависит от многих факторов и обусловлено различными процессами, было посвящено значительное число работ [598—607].

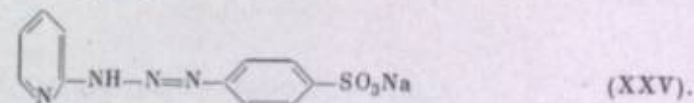
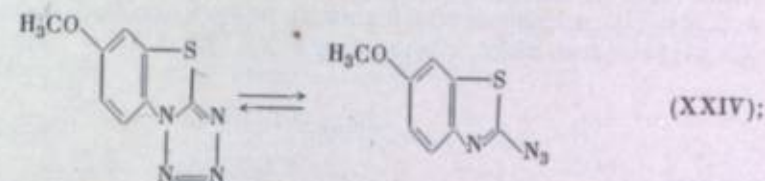
В области стабилизаторов галогенидосеребряных эмульсий помимо проведенного исследования свойств некоторых бензимидазолов [608, 609] основное внимание было уделено синтезу и изучению производных конденсированных гетероциклов, в основном полиазаинденов [610—635] (типа XXII), гетероциклических меркаптосоединений (типа XXIII)

[610, 612, 613, 636—641], а в последнее время цианамидопиримидинов [642] и т. п.



При этом было синтезировано много интересных соединений, доказано строение известного стабилизатора Ф-1 (ста-соли) 5-метил-7-окси-1,3,4-триазанидолицина, получены некоторые его изомеры [617—627], изучены зависимости между строением и фотографическими и физико-химическими свойствами отдельных групп этих веществ [629—633]. Разработаны методы определения различных характеристик стабилизаторов [611, 612, 633, 643—646] и присутствия в них вуалирующих примесей [647]. Показано, что их стабилизирующее и десенсибилизирующее действие тесно связано с адсорбируемостью вуалирующих примесей на галогенидах серебра и растворимостью их серебряных солей; с уменьшением последней скорость восстановления этих солей снижается и энергия активации данной реакции возрастает. На основании этих данных Г. П. Фаерманом сформулирована гипотеза о механизме действия стабилизаторов [610].

Были синтезированы и исследованы в качестве стабилизаторов фотоэмульсий также многочисленные тиазоло- и бензотиазолтетразолы [648—659] (типа XXIV) и алифатические, ароматические и гетероциклические триазены [649, 653, 660—665].



Первые из этих соединений не содержат протолитического водорода и не образуют труднорастворимых серебряных солей, но стабилизируют хлоросеребряные эмульсии, что связано с их необратимой адсорбцией на AgCl [651, 655—658].

Гетероциклические триазены (типа XXV) также стабилизируют AgCl-эмульсии. Большинство этих соединений оказывают сильное десенсибилизирующее действие. Некоторые из триазенов являются слабыми оптическими сенсibilизаторами [661—665].

Изучали также влияние на сохраняемость фотоматериалов некоторых антиокислителей, например многоатомных фенолов, производных гидразина и сульфидов [666—668].

Следует отметить, что уже рассматривавшиеся триарилфосфины, а также трифениларсин не только повышают дополнительную светочувствительность, но и стабилизируют фотографические эмульсии, содержащие некоторые трикарбодиазины [555, 556]. Показано также, что антивуалирующим действием обладают некоторые анионные поверхностно-активные вещества — смачиватели [669], цветные компоненты [548], триазинильные производные 4,4'-диаминостильбен-2,2'-дисульфокислоты

Кроме того, были исследованы ацильные производные N-алкилсерагиновой кислоты и ее эфиров (типа XXXIV), некоторые из которых обладают интересными свойствами [695, 725].

В процессе всех этих работ были установлены важные зависимости между строением вышеуказанных групп смачивателей, их адсорбционными и некоторыми другими свойствами [677, 726—728].

Проводили также подробное изучение смесей смачивателей, которые в некоторых случаях особенно пригодны для многослойного полива [677, 678, 695].

Специальные работы были посвящены изысканию смачивателей, применяемых при экструзионном поливе, так как в этом случае должно происходить очень быстрое смачивание поверхности подложки или уже нанесенного эмульсионного слоя [729]. Для получения высококачественных кинофотоматериалов необходимо, чтобы смачиватели обладали постоянными свойствами. В связи с этим изучали влияние поверхностно-активных веществ на вязкость желатиновых растворов [730, 731] и начали разработку методов анализа смачивателей и их промежуточных продуктов [732—737].

Важнейшими задачами дальнейших работ в этой области являются:

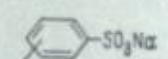
1) изыскание новых групп еще более эффективных смачивателей с вполне постоянными свойствами на основе индивидуального, достаточно доступного сырья; 2) разработка надежных методов анализа этих веществ.

Органические осадители твердой фазы фотографических эмульсий

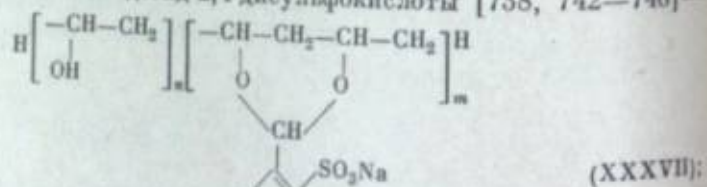
В связи с необходимостью получения концентрированных галогенидосеребряных эмульсий проводили разработку различных методов выделения твердой фазы после их первого созревания (например, [672, 674, 678]).

При этом значительное внимание было уделено исследованию осаждения желатин вместе с микрокристаллами AgHal анионизидными органическими веществами (см., например, [738]).

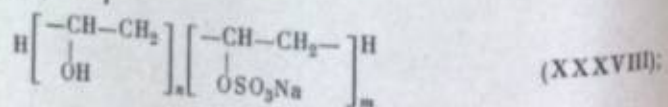
В НИКФИ и НИОПиК было изучено взаимодействие в растворах при различных значениях pH желатин с различными как относительно низкомолекулярными, так и полимерными соединениями, содержащими сульфогруппы. К этим соединениям относятся, например, соли: эфиров сульфопиридинной кислоты [738—741];

алкилбензолсульфокислот [742] —  (XXXV).

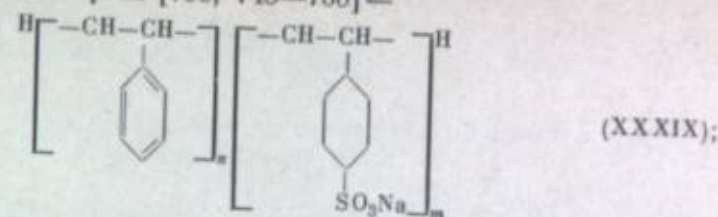
алкилсерных кислот [738] — AlkOSO_3Na (XXXVI);
подвинулацеталей бензальдегид-2,4-дисульфокислоты [738, 742—746] —



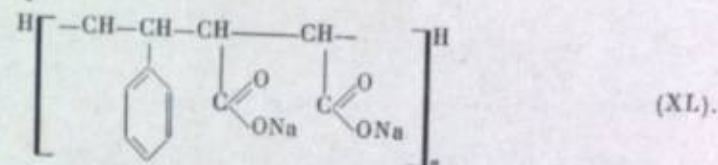
поливинилсульфата [738, 747] —



сульфированного полистирола [738, 748—750] —



сополимеров метилметакрилата с метакриловой кислотой [738, 751, 752]; сополимеров бутилвинилового эфира с малеиновым ангидридом [753]; стиромала [754—756] —



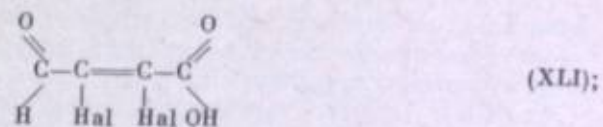
Разрабатывали методы синтеза некоторых этих и подобных соединений [747, 749, 757].

Было показано, что соединения с сульфо- или сульфато-группами значительно легче реагируют с желатиной, образуя с ней часто продукты постоянного состава, по сравнению с веществами, содержащими карбоксильные группы. Однако степень этого взаимодействия и осаждающая способность в большой степени зависят как от строения веществ (типа XXXV—XXXIX), их молекулярного веса и степени гидрофильности, так и от характера фотографических эмульсий, содержания в них электролитов и других факторов [738, 745]. Поэтому, например, для аммиачных и нейтральных эмульсий оказалось целесообразным использовать различные осадители твердой фазы [738].

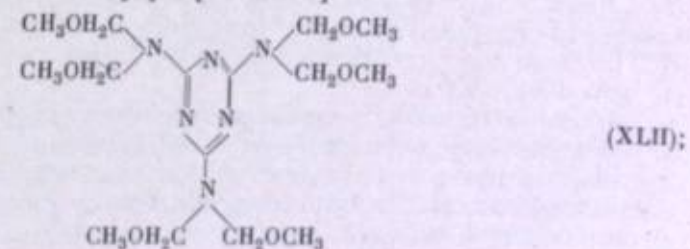
Дубители и пластификаторы эмульсионных слоев

Проводили детальное изучение физико-механических свойств готовых фото- и кинопленок (многослойных систем и отдельно эмульсионных и вспомогательных слоев), способов улучшения этих характеристик и влияния на них различных веществ [672, 674, 678, 758—771]. В связи с этим в НИКФИ, НИОПиК и ЛИКИ велись работы по изысканию более совершенных дубителей и пластификаторов желатиновых слоев, а также замене в последних желатин синтетическими полимерами.

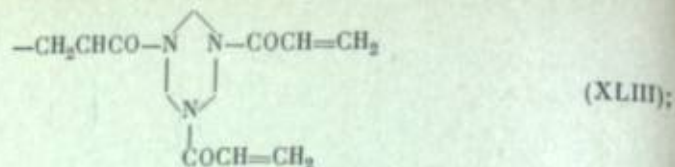
В качестве дубителей были исследованы: мукохлорная и мукобромная кислоты (для нейтральных эмульсий) [772, 773] —



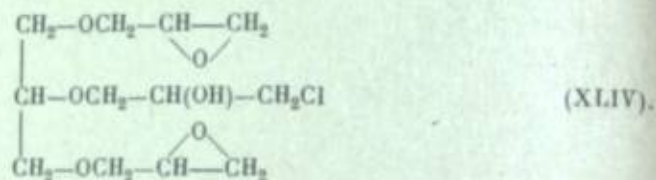
полиметилореламинны и их эфиры [774—776] —



триакроилгексагидротриазин и его аналоги [778—780] —



некоторые соединения, содержащие эпоксигруппы [778—780] —

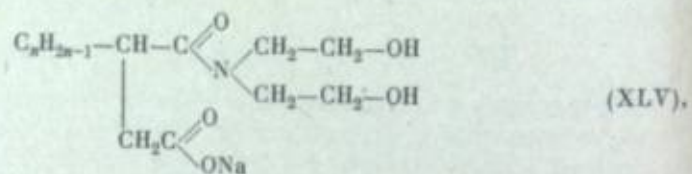


Дубящее действие многих из указанных веществ, а также формальдегида и солей хрома значительно повышается в присутствии многоатомных спиртов и фенолов [761, 772, 773, 777, 781—784].

Изучали дубление смесями различных веществ, например солей хрома и формальдегида в присутствии этиленгликоля, которое иногда дает хорошие результаты [777, 785].

При дублении прочность эмульсионных слоев увеличивается, но одновременно повышается их хрупкость; по этой причине необходимо применять достаточно эффективные пластификаторы.

Благоприятные результаты, в частности в ядерных эмульсиях, были получены при введении солей дизэфиров сульфоянтарной кислоты [786—788]. Значительное пластифицирующее действие оказывают также соли монооксалкиламидов алкенилъянтарных кислот (типа XLV)



которые можно применять в фотографических бумагах [789, 790]. Для этой цели были предложены метил- и этилсиликонаты натрия [791]. Интересно, что уже рассматривавшиеся эфиры полиметилломеламинов, которые являются активными дубителями, одновременно оказывают пластифицирующее действие [774—776].

Было показано, что существенное улучшение физико-механических свойств эмульсионных слоев и готовых кино- и фотопленок может быть достигнуто при введении в эмульсии привитых сополимеров желатинизированных с различными производными акриловой или метакриловой кислот [792—795]. Целесообразно продолжение этих исследований.

Много внимания было уделено также замене части или даже всей желатинизированной в эмульсионных слоях на различные гидрофильные полимеры, например поливинилацеталь бензальдегид-2,4-дисульфокислоты [796, 797], сополимер бутилвинилового эфира с малеиновым ангидридом [798] и др. [799, 800].

Несмотря на значительные исследования, проведенные по дублению и пластификации эмульсионных слоев кинофотоматериалов, физико-механические свойства последних не в полной мере отвечают все возрастающим требованиям. Ввиду этого целесообразно увеличить объем поисковых работ в данной области.

Большой цикл исследований был проведен по синтезу и изучению органических веществ для различных цветофотографических процессов, разработке которых посвящена статья С. А. Бонгарда и В. С. Чельцова [801].

Органические вещества для многослойных материалов с цветным проявлением

Основное внимание было уделено веществам, необходимым для способа цветной фотографии на многослойных светочувствительных материалах, обрабатываемых по принципу цветного проявления ароматическими *n*-диаминными.

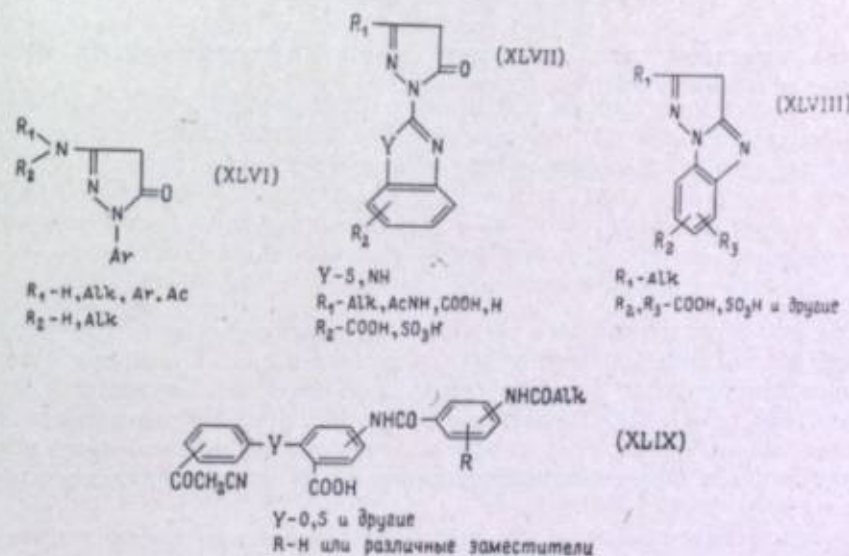
При этом было однозначно доказано строение красителей, образующихся при цветном проявлении [802—805]. Экспериментально установлено, что первичным продуктом в этом процессе является семихинон [806, 807]. Определены выходы азометиновых и индоанилиновых красителей по отношению к восстановленному серебру [808—810].

Много работ было посвящено синтезу и изучению цветных компонент различных классов, от которых в значительной степени зависит качество получаемых цветных кинофотоматериалов [811—813].

В этих исследованиях были установлены некоторые интересные зависимости между строением цветных компонент и их реакционной способностью в условиях цветного проявления, окраской, устойчивостью и другими свойствами образующихся из них красителей [814].

Специальные работы были посвящены методам определения и оценки реакционной способности и степени чистоты этих веществ [815—820].

Из компонент, образующих пурпурные азометиновые красители, подробно изучали замещенные пиразолоны (5), а также близкие им соединения (типов XLVI—XLVIII) [814, 821—825] и диацетиальные производные ароматического и гетероциклического ряда (типа XLIX) [826—832].



где Y — O, S и другие; R — H или различные заместители.

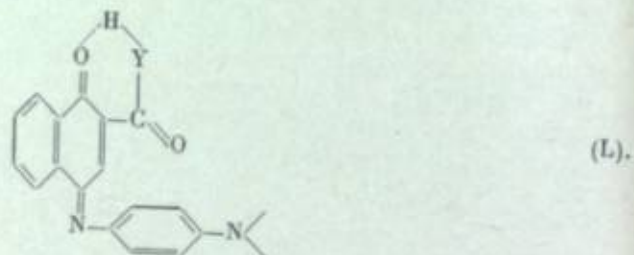
Реакционная способность этих компонент, область и селективность поглощения, а также стабильность к свету и гидролизу образующихся из них красителей в значительной степени зависят от электронного характера и положения присутствующих в их молекуле заместителей.

Из производных пиразолона более избирательно поглощающие красители образуют компоненты, содержащие в 1-м положении гетероциклический остаток и в 3-м положении свободную или замещенную аминогруппу (см. типы XLVI и XLVII) [821—823]. Весьма устойчивые и очень селективно поглощающие красители получают из бензимидазолопиразолинов (типа XLVIII), которые сами почти не изменяются в желатиновых слоях [825]. В отличие от этого производные пиразолона при хранении готовых изображений довольно легко образуют окрашенные вещества [833], что связано с легким расщеплением в этих соединениях гетероциклического ядра [834].

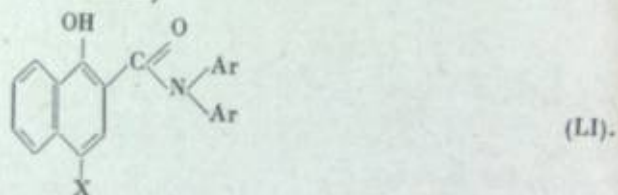
В качестве «пурпурных» компонент были синтезированы и исследованы также некоторые производные индазолона (3) [835, 836] и оксидола [837].

Некоторые работы были посвящены синтезу и исследованию производных 1,2-оксинафтойной кислоты и фенолов бензольного ряда, изучению окраски и устойчивости образующихся из них при цветном проявлении голубых индоанилиновых красителей [814, 838—847].

При этом было показано, что окраска изображений, получаемых при использовании этих компонент, зависит от электроно-акцепторных свойств группировок в их ароматических ядрах, образования водородной связи по карбонильному кислороду, ограничивающему хромофорную систему (типа L) [838, 839], а также способности красителей к агрегации в желатиновых слоях [814].

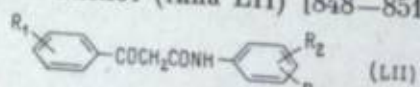


Было выяснено, что склонность красителей производных амидов 1,2-оксинафтойной кислоты (типа LI)



к гидролизу и соответственно устойчивость образуемых ими голубых изображений в большой степени зависит от заместителей в амидном остатке; наиболее стабильными оказались красители из соответствующих диарил-амидов [842, 843]. Способность же всей этой группы красителей к образованию бисульфитных соединений и легкость их обесцвечивания в фиксационных ваннах, содержащих бисульфит, определяется другими элементами их строения [844].

Из кетометиленовых соединений, образующих при цветном проявлении желтые азометиновые красители, синтезировали и изучали в основном арилыды арилуксусных кислот (типа LII) [848—851].

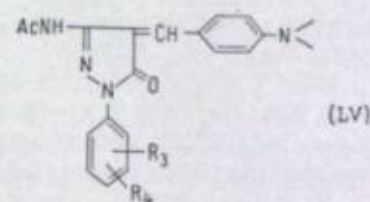
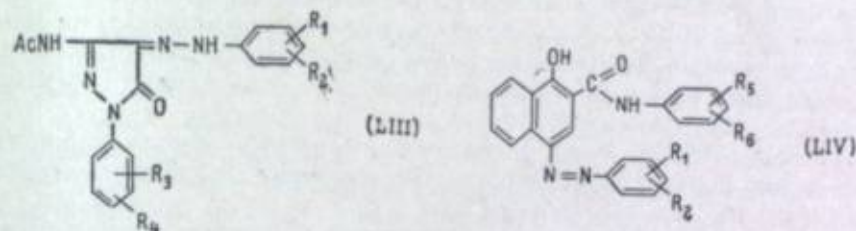


где R_1, R_2, R_3 — H или различные заместители.

Было показано, что реакционная способность этих компонент, область и селективность поглощения, а также устойчивость соответствующих красителей могут сильно изменяться в зависимости от характера и положения заместителей в арильном и арилидном остатках. В наиболее коротковолновой области достаточно избирательно поглощают красители, содержащие в *o*-положениях этих остатков электронодонорные группы. Некоторые из них обладают значительной светостойкостью.

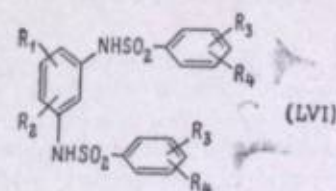
Исследовали также некоторые полимерные компоненты этого ряда, показавшие повышенное вуализирующее действие [852], и арилыды фурил- и тиеноилуксусных кислот, которые образуют по сравнению с арилыдами арилуксусных кислот (типа LII) более глубоко окрашенные красители [853, 854].

Многие работы были посвящены синтезу и исследованию маскирующих компонент — арилазо- и бензилиденовых производных пиразолонов (5) и амидов 1,2-оксинафтойной кислоты, в частности недиффундирующих в эмульсионных слоях (типов LIII—LV) [855—861].



При этом были получены активные маскирующие компоненты с удовлетворительным спектральным поглощением, достаточно устойчивые к обесцвечивающим серебро растворам; выяснены зависимости между их строением и свойствами.

Изучали также компоненты, образующие при окислении вместе с ароматическими *l*-диаминными азиновыми красителями, в основном арен- и алкансульфаминопроизводные ароматических *m*-диаминов и *m*-аминофенолов (типа LVI) [862—867].



Реакционная способность этих компонент невысока; они образуют селективно поглощающие пурпурные красители, которые почти не изменяются даже при высоких температуре (70° C) и влажности (75%), но довольно неустойчивы к действию света.

Были проведены также значительные работы по полупродуктам для различных цветных компонент, в результате которых найдены и разра-

ботаны новые методы синтеза гетероциклических гидразинов [869, 870], некоторых ароматических вторичных аминов [871, 872], диэфиров имидомалоновой кислоты [873], замещенных *n*-диалкиламинобензальдегидов [874] и др.

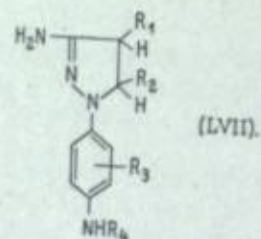
Некоторые недиффундирующие цветные компоненты легко растворяются в разбавленных растворах едких щелочей, но при их введении в галлодосеребряные эмульсии они начинают постепенно выкристаллизовываться, что приводит к помутнению эмульсионного слоя. В связи с этим проводили работы по изысканию веществ, препятствующих выпадению цветных компонент в эмульсиях и готовых эмульсионных слоях [875, 876]. Некоторые из этих диспергаторов сами являются малоактивными недиффундирующими компонентами [875]. Однако для указанной цели рациональнее использовать вещества, не образующих окрашенных продуктов в процессе фотографической обработки.

Было выяснено, что большинство цветных компонент является поверхностно-активными веществами; они вступают во взаимодействие с желатиной и значительно изменяют физические свойства галлодосеребряных эмульсий [677, 730], в частности увеличивают их вязкость. Оказалось, что некоторые вещества, например три(аминоалкил)фосфаты [877], сами реагируя с цветными компонентами, понижают вязкость эмульсий, содержащих эти соединения.

Некоторые работы были посвящены выяснению причин подавления компонентами сенсibilизирующего действия многих полиметиновых красителей [45, 46, 243, 543, 878—882].

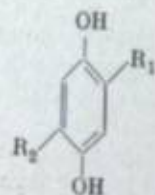
Это явление в значительной степени связано с вытеснением с поверхности AgHal сенсibilизаторов цветными компонентами, которые, как оказалось, в значительных количествах необратимо адсорбируются на эмульсионных микрокристаллах [45, 883].

В последние годы начаты работы по активации процесса цветного проявления. Показано, что при введении в цветные проявители 1-*n*-аминоарил-3-аминопиразолинов (типа LVII) наблюдается существенное повышение светочувствительности цветных негативных пленок [884, 885].



$R_1, R_2, R_3 - H, Alk, Ar, OAlk$
 $R_4 - H, Alk, SO_2Alk$

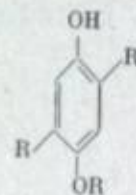
Для предотвращения диффузии продуктов окисления цветных проявляющих веществ в соседние слои и связанных с этими нарушениями цветопередачи, а также для устранения так называемой контактной вуали проводили синтез и исследование «недиффундирующих» восстановителей, в основном производных гидрохинона (типа LVIII) [886—889].



(LVIII).

Было выяснено, что продукты окисления многих из этих веществ образуют с цветными компонентами окрашенные соединения [898] (ср. [890]).

В этих работах изучали [891] алкилирование гидрохинона. Было показано, что при этой реакции получают также эфиры алкилгидрохинонов (типа LIX)



(LIX).

из которых при цветном проявлении могут образовываться голубые индоанилиновые красители [889].

Органические вещества для гидротипного процесса

Проведены также значительные работы по синтезу и исследованию специальных органических соединений для гидротипного метода получения цветных фильмов [801] — гидротипных красителей, фиксаторов для них и дубящих проявляющих веществ. Разработку этого метода начали в ГОИ и на киностудии «Ленфильм» еще в начале 30-х годов [892].

Работы по гидротипным красителям были посвящены в основном изучению кинетики диффузии этих веществ в гелях желатины [893—897], крашению матриц [898—901] и факторов, влияющих на перенос красителей из матриц в бланкфильм [902—904].

Проведены синтез и исследование фиксаторов различных классов для кислотных гидротипных красителей.

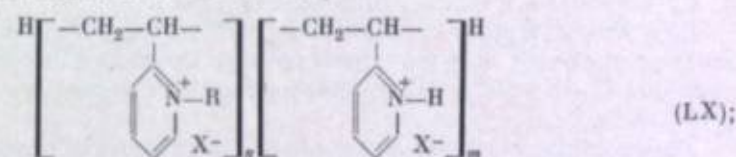
Изучали:

полиэтиленимины [905];

эфиры диэтиленимидов и аналогичных соединений [906];

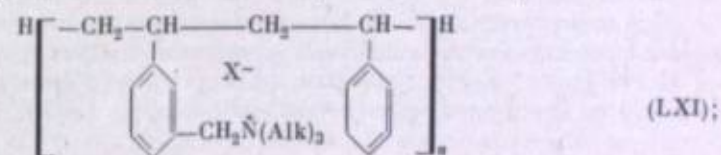
производные бигуанидина [907] и дициандиамида [908];

соли поливинилпиридинов [909, 910] —



(LX);

соли поли-*n*-триалкиламонилметилстирола [911—913] —



(LXI);

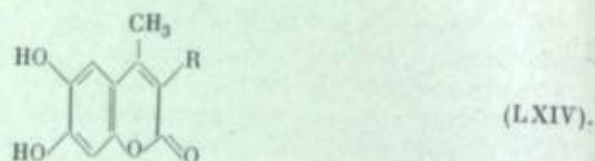
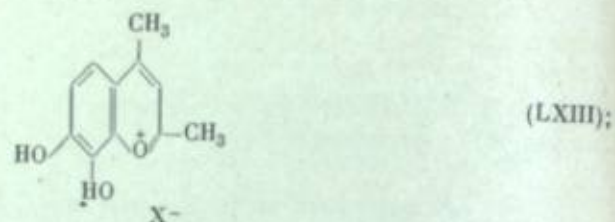
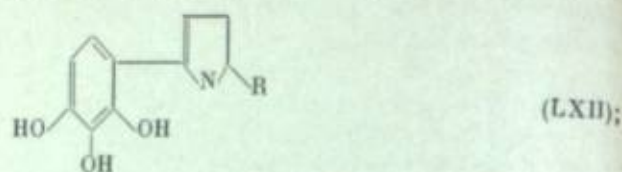
привитые сополимеры желатины с эфирами аминспиртов и акриловой или метакриловой кислот [914].

Некоторые из этих фиксаторов получили практическое применение.

Специально разрабатывали методы оценки фиксирующего действия и других свойств этих соединений [915, 916].

Для разработки оптимальных условий получения матриц для гидротипных фильмов были проведены синтез и исследование некоторых новых проявляющих веществ, продукты окисления которых обладают дубящим действием. Изучали различные замещенные пирокатехины и пи-

рогаллолы (типа LXII) [917—923], диоксибензопириллиновые соли (типа LXIII) [922—928], производные диоксикумарона (3) [929] и диоксикумаринов (типа LXIV) [922, 923, 925, 930—937].



Некоторые новые дубящие проявляющие вещества обладают интересными свойствами. Были разработаны методы синтеза (см., например, [938]) и анализа [939] этих веществ, исследованы их спектры поглощения [940].

Проявляющие вещества

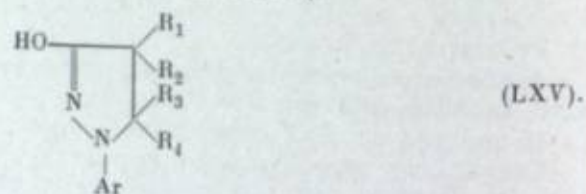
В ГОИ, ЛИКИ, НИКФИ и других организациях было проведено много интересных работ по изучению процесса проявления черно-белых и цветных кинофотоматериалов. Эти работы рассматриваются в статьях Г. П. Фаермана и В. И. Шеберстова [941].

При этом в первую очередь были разработаны технологические методы синтеза наиболее широко применяемых проявляющих веществ (см., например, [2—8, 942—945]), определены их основные характеристики [946—948].

Успешно изучали способы анализа этих веществ и определения их содержания в проявляющих растворах, причем в последнее время особое внимание уделяли разработке полярографических методов [949—961].

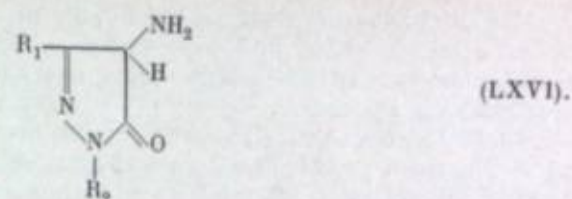
В течение последних 15 лет проводили также синтез и исследование новых проявляющих веществ, в основном гетероциклического ряда.

Подробному изучению были подвергнуты 1-фенил-3-оксипиразолин-фенидон и его производные [962—968] (типа LXV).



Показано, что суперрадикальное действие этих веществ, а также устойчивость их щелочных растворов в значительной степени зависят от характера заместителей в пиразолиновом ядре и фенильном остатке.

Разрабатывали методы синтеза этих веществ [969—971], которые нашли практическое применение.



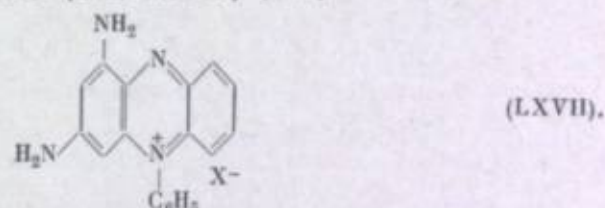
Был проведен также синтез и исследование производных 4-аминопиразолинона (5), которые проявляют в нейтральной или даже в слабнокислой среде [972—976]. Некоторые из них оказались удобными для проявления ядерных фотоматериалов [977—980]. Были изучены методы синтеза [972, 974, 981, 982] и анализа [983—985] этих веществ.

Исследовали также проявляющие свойства ацильных производных многоатомных фенолов [986], влияние на процесс проявления различных веществ, в частности некоторых красителей [987, 988].

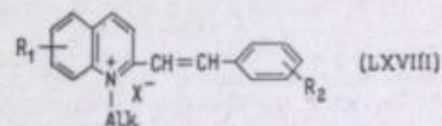
Десенсибилизаторы и другие специальные органические вещества, применяемые при химической обработке

Из других веществ, применяемых при обработке кинофотоматериалов, целесообразно остановиться на десенсибилизаторах и органических фиксаторах.

Еще в середине 30-х годов было установлено строение десенсибилизатора пинакриптола зеленого (типа LXVII) [989]



выяснены зависимости между строением четвертичных солей 2-стиролхинолинов [990] (типа LXVIII),



а также некоторых фловиндулинов [991] и их десенсибилизирующим действием. Были разработаны методы синтеза этих десенсибилизаторов [3, 992—994] и их полупродуктов [3, 532—540, 995].

Проведен ряд интересных работ по выяснению механизма действия десенсибилизаторов и других близких им по строению веществ (см., например, [31—33, 996—1002]).

В последние годы начаты работы по изысканию более совершенных фиксаторов изображений, получаемых на галоидосеребряных кинофотоматериалах [1003—1006]. Были исследованы меркаптоалкан-аренкарбоновые и -сульфо кислоты (типов LXIX и LXX), некоторые из которых образуют очень устойчивые, растворимые в воде серебряные соли.



Заключение

Настоящий обзор охватывает далеко не все группы органических веществ, применяемых при получении и обработке кинофотоматериалов, и не касается химикатов, используемых в различных бессеребряных фотографических процессах.

Однако приведенный материал показывает, что за 50 лет, прошедших после Великой Октябрьской революции, в Советском Союзе проведен огромный объем работ по синтезу и исследованию специальных органических веществ для химико-фотографической промышленности, что позволило несомненно повысить качество выпускаемых кинофотоматериалов.

Эти работы не только имеют большое значение для химии фотографического процесса, но и внесли значительный вклад в ряд разделов органической химии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. А. Шиллов, С. Федотов, Z. Elektrochem., 1912, 18, 929; 1913, 19, 268; Б. А. Беркенгейм, Там же 1912, 18, 939; Н. А. Шиллов, Е. Тимченко, там же, 1913, 19, 816; Н. А. Шиллов, К теории фотографического проявителя, М., 1914; Я. М. Катусев, К теории фотографического проявителя, Изв. Моск. Комм. ин-та, М., 1915, т. 3, Е. Tausch, Diss. Berlin, 1934; E. Leibmann, E. Tausch, Phot. Korr., 1935, 71, 17.
- [2] В. В. Лонгинов, Тр. ИРЕА, 1935, 14, 14.
- [3] Г. И. Михайлов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 74.
- [4] А. Г. Пукирев, Ж. хим. фарм. пром., 1933, 58.
- [5] И. В. Куликов, А. Г. Пукирев, Авт. свид. СССР 16667 (Вестн. ком. изобр., 1930, № 9); В. С. Чельцов, Сов. фото, 1930, 5, 145.
- [6] И. В. Куликов, Л. А. Зепалова-Михайлова, ЖОХ, 1932, 2, 730; А. П. Терентьев, С. Чернин, Ж. хим. фарм. пром., 1933, 18.
- [7] Л. А. Зепалова-Михайлова, Тр. ИРЕА, 1947, 19, 41.
- [8] А. И. Киприанов, Г. И. Киприанов, М. М. Дашевский, Укр. ХЖ, 1932, 7, 87; А. И. Киприанов, Е. Д. Смыч, Укр. ХЖ, 1932, 7, 94.
- [9] М. Н. Щукина, Кинофотопром., 1933, 2, 111.
- [10] М. Н. Щукина, В. А. Преображенский, Н. А. Преображенский, Л. М. Полякова, А. Ф. Вомпе, М. И. Кабачник, Тез. докл. на I совещ. по научн. фотогр., Л., 1932, стр. 23; Тр. НИКФИ, 1934, 2, 166.
- [11] А. И. Киприанов, В. П. Смытник, Е. Д. Смыч, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 1-2, 48.
- [12] М. М. Соболев, М. В. Бондарева, Е. Ф. Евтеева, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 1-2, 43; ЖПХ, 1936, 9, 335.
- [13] В. А. Яштолд-Говорко, Сов. фото, 1936, 7, 31.
- [14] М. П. Пашин, Фотохимпром., 1936, 4, № 2, 121.
- [15] И. И. Левкоев, Тез. докл. на II совещ. по научн. фотогр. АН СССР, М., 1937, стр. 39.
- [16] К. В. Чибисов, Ж. практ. фотогр. «Фотограф», 1926, 1, № 11-12, 14; К. В. Чибисов, А. А. Михайлова, там же, 1929, 4, 328.
- [17] К. В. Чибисов, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1932, 1, 17, 128; 1934, 2, 121; Кинофотопром., 1933, № 2, 127.
- [18] К. В. Чибисов, Кинофотопром., 1933, № 3, 90.
- [19] К. В. Чибисов, Н. В. Макаров, Фотокинохимпром., 1934, 2, № 2, 3.
- [20] Б. Семейкин, И. А. Черный, Фотокинохимпром., 1933, 1, № 4, 13.
- [21] А. О. Кондакчан, Л. М. Богданов, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 6, 43.
- [22] Е. А. Иофис, Фотохимпром., 1936, 4, № 2, 108.
- [23] В. Л. Зеликман, О. В. Попова, Кинофотохимпром., 1938, 11, 32.
- [24] С. М. Соловьев, А. В. Бромберг, Фотохимпром., 1936, 4, 153; С. М. Соловьев, там же, 1936, 4, 270.
- [25] А. И. Киприанов, Тез. докл. на II совещ. по научн. фотогр. АН СССР, М., 1937, стр. 42.
- [26] А. И. Киприанов, Уч. зап. Харьк. держ. ун-ва, 1937, 6-7, 93; Бюлл. ВХО им. Д. И. Менделеева, 1939, 5, 31; 1942, 4, 7.
- [27] Ю. Н. Гороховский, А. А. Крюков, В. П. Федотова, ЖФХ, 1940, 14, 180, 188.
- [28] И. И. Левкоев, Тез. докл. на III совещ. по научн. фотогр., Л., 1941, стр. 24.
- [29] С. В. Натансон, Тез. докл. на III совещ. по научн. фотогр., Л., 1941, стр. 23; Тр. НИКФИ, 1944, 7, 41; Acta Physicochim. URSS, 1946, 21, 430.
- [30] Е. А. Никифоров, Тез. докл. на III совещ. по научн. фотогр., Л., 1941, стр. 21; ЖФХ, 1944, 18, 395.
- [31] Р. В. Чубаров, Фотохимпром., 1936, 4, № 1, 32.
- [32] Ю. Н. Гороховский, ДАН СССР, 1943, 39, 300.
- [33] И. И. Брейдо, Ю. Н. Гороховский, ДАН СССР, 1943, 39, 395; ЖФХ, 1943, 17, 57.
- [34] А. И. Киприанов, Юбил. сб. АН УССР, 1944, 1, 257.
- [35] И. И. Левкоев, С. В. Натансон, Тр. НИКФИ, 1944, 7, 17; Acta Physicochim. URSS, 1946, 21, 437.
- [36] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, И. Н. Горбачева, А. Ф. Вомпе, Тр. НИКФИ, 1944, 7, 25.
- [37] С. В. Натансон, Тр. НИКФИ, 1944, 7, 34; Acta Physicochim. URSS, 1946, 21, 451.
- [38] С. М. Соловьев, Тез. докл. на III совещ. по научн. фотогр., Л., 1941, стр. 25; ЖФХ, 1945, 19, 451.
- [39] С. М. Соловьев, Тр. НИКФИ, 1944, 7, 46; Acta Physicochim. URSS, 1944, 19, 592.
- [40] С. М. Соловьев, ЖФХ, 1945, 19, 459.
- [41] С. М. Соловьев, ЖОХ, 1946, 16, 1405.
- [42] А. В. Борин, Г. П. Трохимович, ЖПХ, 1946, 19, 931.
- [43] А. В. Борин, ЖПХ, 1946, 19, 1325.
- [44] А. И. Киприанов, Юбил. сб. АН УССР, 1946, 27.
- [45] Э. Б. Лифшиц, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1951.
- [46] И. И. Левкоев, С. В. Натансон, З. П. Смытник, Тез. докл. на V совещ. по научн. фотогр. АН СССР, М., 1950, стр. 34; Усп. научн. фотогр., 1953, II, 11.
- [47] С. В. Натансон, Тез. докл. на VI совещ. по научн. фотогр. АН СССР, Одесса, 1951, стр. 50.
- [48] А. В. Борин, Тез. докл. на VI совещ. по научн. фотогр. АН СССР, Одесса, 1951, стр. 53.
- [49] А. В. Борин, ДАН СССР, 1952, 86, 969; Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 111.
- [50] А. И. Киприанов, Тез. докл. на VI совещ. по научн. фотогр. АН СССР, Одесса, 1951, стр. 48; Усп. научн. фотогр., 1955, III, 141.
- [51] Ю. Н. Гороховский, Б. В. Барбарин, Е. И. Ожерельева, Тез. докл. на VI совещ. по научн. фотогр. АН СССР, Одесса, 1951, стр. 44.
- [52] Ю. Н. Гороховский, Е. И. Ожерельева, Усп. научн. фотогр., 1955, III, 110, 119.
- [53] А. В. Борин, В. П. Агатицкая, ЖПХ, 1956, 29, 1393.
- [54] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Н. Н. Свешников, З. П. Смытник, Тр. НИКФИ, 1957, 20, 55; Ergebn. intern. Konf. wiss. Phot., Köln, 1956, 109, 1958.
- [55] И. И. Левкоев, А. Ф. Вомпе, Н. Н. Свешников, Хим. наука и пром., 1958, 3, 587.
- [56] С. В. Натансон, Congr. et coll. Univ. Liege, 23, Sci. Phot., 1962, 457; Кинотехника, 1963, 2, 23.
- [57] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Congr. et coll. Univ. Liege, 23, Sci. Phot., 1962, 440; Кинотехника, 1963, 2, 5.
- [58] А. И. Киприанов, ЖВХО им. Д. И. Менделеева, 1962, 7, 317.
- [59] З. П. Смытник, А. А. Абдуллаев, Л. Д. Жилина, Тез. докл. на VI укр. респ. конф. по орг. химии, Киев, 1959, стр. 67.
- [60] З. П. Смытник, М. С. Любич, М. К. Гречко, Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. химии, Харьков, 1961, стр. 108.
- [61] М. В. Дейчмейстер, Л. Д. Жилина, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 26.
- [62] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Тез. докл. на Совещ. по химии сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 1.
- [63] С. В. Натансон, Тез. докл. на Совещ. по химии сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 2.
- [64] М. С. Любич, З. П. Смытник, Р. В. Тимофеева, М. А. Альперович, Кинотехника, 1963, 4, 64.
- [65] М. В. Дейчмейстер, Н. С. Спасокукоцкий, Ю. Ш. Мошковский, Л. Д. Жилина, ЖОХ, 1961, 31, 3631; Н. С. Спасокукоцкий, М. В. Дейчмейстер, Ю. Ш. Мошковский, ЖОХ, 1964, 34, 3259; Ю. Ш. Мошковский, Н. С. Спасокукоцкий, М. В. Дейчмейстер, ЖОХ, 1965, 35, 528; Ю. Ш. Мошковский, Т. Н. Игнатович, Н. С. Спасокукоцкий, М. В. Дейчмейстер, ХГС, 1965, 246.

- [66] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, Chem. Listy, 1966, 60, 791; Докл. на XIX съезде Чехословацк. хим. общ., 1962.
- [67] С. В. Натансон, J. Phot. Sci., 1962, 10, 9; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 362.
- [68] А. И. Киприанов, Укр. ХЖ, 1967, 33, 1169.
- [69] А. И. Киприанов, И. И. Левкоев, С. В. Натансон, сб. работ по физ. хим., Изд. АН СССР, 1947, 110.
- [70] М. К. Гречко, С. В. Натансон, М. А. Альперович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 142; Кинотехника, 1963, 4, 92; А. Н. Ходченков, М. К. Гречко, Ю. Б. Виленикий, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 167; М. К. Гречко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 137; 1965, 10, 116.
- [71] И. Н. Горбачева, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1938.
- [72] А. И. Киприанов, З. Н. Пазенко, ДАН УССР, ОФХМН, 1949, 3, 15.
- [73] А. И. Киприанов, З. Н. Пазенко, ЖОХ, 1951, 21, 163, 170.
- [74] А. И. Киприанов, В. П. Хиль, Ж. орг. Х., 1967, 3, 1097.
- [75] А. И. Киприанов, Э. А. Пономарева, Укр. ХЖ, 1960, 26, 78, 633; А. И. Киприанов, Э. А. Пономарева, Я. П. Скавинский, Укр. ХЖ, 1960, 26, 237.
- [76] С. Г. Фридрих, А. И. Киприанов, Укр. ХЖ, 1956, 22, 767.
- [77] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 419.
- [78] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, Л. М. Ягупольский, А. В. Бориш. Авт. свид. СССР 118091 (Бюлл. изобр., 1959, № 4).
- [79] Л. М. Ягупольский, В. И. Троицкая, ЖОХ, 1959, 29, 2409, 2730.
- [80] Л. М. Ягупольский, Н. В. Кондратенко, ЖОХ, 1963, 33, 920.
- [81] Л. М. Ягупольский, Н. В. Кондратенко, Ю. А. Физалков, ЖОХ, 1966, 36, 828.
- [82] Л. М. Ягупольский, Э. Б. Лифшиц, Ю. А. Физалков, Р. В. Тимофеева, Г. Ф. Курепина, Авт. свид. СССР 168126 (Бюлл. изобр., 1965, № 3).
- [83] В. М. Зубаровский, Р. Н. Москалева, М. П. Бачуринна, ЖОХ, 1962, 32, 1581.
- [84] М. А. Альперович, В. М. Зубаровский, М. К. Гречко, Р. В. Тимофеева, Р. Н. Москалева, М. П. Бачуринна, Авт. свид. СССР 148719 (Бюлл. изобр., 1962, № 13); М. А. Альперович, М. К. Гречко, В. М. Зубаровский, Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленикий, Е. И. Тульчинская, М. И. Мумжиев, З. К. Авербух, Авт. свид. СССР 157608 (Бюлл. изобр., 1963, № 18).
- [85] Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Л. М. Ягупольский, Н. С. Барвинь, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 175; Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Л. М. Ягупольский, Н. С. Барвинь, Г. Ф. Курепина, Тез. докл. на Совещ. хим. сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 33.
- [86] Е. Д. Сич, Ж. Н. Белая, Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 21; ЖОХ, 1963, 33, 1507.
- [87] Е. Д. Сич, Ж. Н. Белая, Г. Г. Дядюша, Укр. ХЖ, 1964, 30, 1065.
- [88] Е. Д. Сич, Л. П. Уманская, Укр. ХЖ, 1965, 31, 201.
- [89] Е. Д. Сич, Ж. Н. Белая, Л. П. Уманская, Е. Д. Смазная-Ильина, Укр. ХЖ, 1966, 32, 274; в сб.: Хим. стр. свойства и реакт. орг. соедин. «Наукова думка», Киев, 1969, стр. 32.
- [90] М. В. Дейчмейстер, А. М. Платошкин, ХГС, 1967, 333.
- [91] В. Г. Жиряков, И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, К. И. Покровская, Авт. свид. СССР 113291 (Бюлл. изобр., 1958, № 5); В. Г. Жиряков, С. М. Соловьев, Авт. свид. СССР 115534 (Бюлл. изобр., 1958, № 10).
- [92] В. Г. Жиряков, ЖОХ, 1964, 34, 2034.
- [93] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ХГС, 1969, 3, 491.
- [94] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Г. Ф. Курепина, Авт. свид. СССР 168991 (Бюлл. изобр., 1965, № 5).
- [95] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Г. Ф. Курепина, Авт. свид. СССР 177279 (Бюлл. изобр., 1965, № 24).
- [96] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ЖОХ, 1965, 35, 150; ХГС, 1967, 1, 621.
- [97] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ХГС, 1967, 830; 1969, 491.
- [98] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Тр. Госнихимфотопроекта, 1968, 1, 18, 26.
- [99] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Г. Ф. Курепина, Авт. свид. СССР 159726 (Бюлл. изобр., 1964, № 7); 159909 (Бюлл. изобр., 1964, № 2); 179189 (Бюлл. изобр., 1966, № 4).
- [100] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Н. И. Сенникова, Авт. свид. СССР 175819 и 175820 (Бюлл. изобр., 1965, № 20).
- [101] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Н. И. Сенникова, Авт. свид. СССР 202728 (Бюлл. изобр., 1967, № 19).
- [102] В. Г. Жиряков, Автореф. докт. дисс. НИКФИ, М., 1966; Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 12.
- [103] З. И. Мирошниченко, М. А. Альперович, ЖОХ, 1964, 34, 241, 247; Ж. орг. Х., 1965, 1, 289.
- [104] Ф. Н. Степанов, Н. А. Алданова, Л. И. Лукашина, Тез. докл. на V укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 44.
- [105] Ф. Н. Степанов, Л. И. Лукашина, ЖОХ, 1959, 29, 2792; 1960, 30, 2850.
- [106] Ф. Н. Степанов, Л. И. Лукашина, ЖОХ, 1963, 33, 2364.
- [107] Ф. С. Бабичев, В. Н. Бубновская, Тез. докл. на VIII укр. респ. конф. по орг. хим., Львов, 1963, стр. 72.
- [108] Ф. С. Бабичев, В. К. Кибирев, ЖОХ, 1963, 33, 3646.
- [109] В. К. Кибирев, Ф. С. Бабичев, Укр. ХЖ, 1964, 30, 488.
- [110] Ф. С. Бабичев, В. Н. Бубновская, Укр. ХЖ, 1964, 30, 848.
- [111] Ф. С. Бабичев, В. К. Кибирев, Л. Г. Хилько, Укр. ХЖ, 1966, 32, 64.
- [112] Ф. С. Бабичев, Acta Univ., Debrecen., Ser. Phys. et Chim., 1966, 73—92.
- [113] Ф. С. Бабичев, А. Ф. Бабичева, ХГС, 1967, 187, 917.
- [114] В. Н. Бубновская, В. С. Шварц, Ф. С. Бабичев, Укр. ХЖ, 1967, 33, 924.
- [115] Ф. С. Бабичев, Автореф. докт. дисс. Киев, 1965.
- [116] Л. К. Мушкало, Укр. ХЖ, 1953, 19, 193.
- [117] Л. К. Мушкало, З. И. Лановая, Укр. ХЖ, 1955, 21, 631.
- [118] Л. К. Мушкало, Наук. зап. Киевск. держ. унив., Хим. сб., 1956, 7, 143; 1957, 8, 133; Тез. докл. на V укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 45.
- [119] Л. К. Мушкало, ЖОХ, 1958, 28, 742.
- [120] Л. К. Мушкало, ЖОХ, 1959, 29, 1030, 1034.
- [121] Л. К. Мушкало, З. И. Шокол, ЖОХ, 1961, 31, 3069; Укр. ХЖ, 1961, 27, 372; Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 26.
- [122] Л. К. Мушкало, Н. К. Михайлюченко, Укр. ХЖ, 1964, 30, 202.
- [123] Л. К. Мушкало, Автореф. докт. дисс. Киев, 1956.
- [124] Л. К. Мушкало, Wiss. Z. Karl-Marx Univ. Leipzig, 14, Math.-Naturwiss. B., 1965, № 3, 541.
- [125] Л. К. Мушкало, Вісн. Київ. унів., сер. хим., 1967, 8, 35.
- [126] В. М. Уварова, Т. А. Каликина, Р. А. Герштейн, К. С. Богомолов, И. И. Левкоев, М. Ю. Дебердеев, Т. Ш. Такташева, Авт. свид. СССР 207016 (Бюлл. изобр., 1967, № 1).
- [127] З. И. Москаленко, М. А. Альперович, Авт. свид. СССР 161765 (Бюлл. изобр., 1964, № 8); 172941 (Бюлл. изобр., 1965, № 14); 178381 (Бюлл. изобр., 1966, № 3).
- [128] З. И. Москаленко, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1965.
- [129] А. Ф. Вомпе, А. В. Казымов, Л. П. Щелкина, Е. М. Перель, Э. Г. Брен, Э. Б. Сумская, И. С. Басарова, Н. В. Монич, Л. В. Иванова, Авт. свид. СССР 165969 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
- [130] А. В. Казымов, Е. М. Бельдер, Э. Г. Брен, Н. В. Монич, Л. В. Иванова, А. Ф. Вомпе, Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 24; А. Ф. Вомпе, Л. П. Щелкина, А. В. Казымов, ХГС, 1970, 115.
- [131] Б. С. Портная, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1946.
- [132] А. И. Толмачев, А. И. Киприанов, Тез. докл. на V укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 49.
- [133] А. И. Киприанов, А. И. Толмачев, ЖОХ, 1960, 30, 638.
- [134] А. И. Толмачев, ЖОХ, 1960, 30, 2884.
- [135] А. И. Толмачев, Тез. докл. на VI укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 23; Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 29.
- [136] А. И. Толмачев, В. П. Срибная, Л. В. Щеглова, ЖОХ, 1963, 33, 440.
- [137] А. И. Толмачев, Л. В. Щеглова, ЖОХ, 1963, 33, 448.
- [138] А. И. Толмачев, В. П. Срибная, Авт. свид. СССР 172435 (Бюлл. изобр., 1965, № 13).
- [139] А. И. Толмачев, В. П. Срибная, ХГС, 1966, 183.
- [140] А. И. Толмачев, ЖОХ, 1960, 30, 2892.
- [141] А. И. Толмачев, В. П. Срибная, ЖОХ, 1963, 33, 3864.

- [142] В. А. Кухтин, А. В. Казымов, Т. Н. Воскобоева, ДАН СССР, 1961, 140, 601; Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 20; Тез. докл. на Совещ. по хим. сенс. и сенс. биол. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 10.
- [143] А. В. Казымов, Т. Н. Воскобоева, В. А. Кухтин, Авт. свид. СССР 164279 (Бюлл. изобр., 1964, № 15); 183068 (Бюлл. изобр., 1966, № 12).
- [144] А. В. Казымов, Э. Б. Сумская, Авт. свид. СССР 186282 (Бюлл. изобр., 1966, № 18); 190206 (Бюлл. изобр., 1967, № 1).
- [145] А. И. Киприанов, З. П. Сытник, Е. Д. Смч, ЖОХ, 1936, 6, 42.
- [146] А. И. Киприанов, Н. Е. Григорьева, Тр. Инст. хим. ХГУ, 1937, 3, 53.
- [147] А. И. Киприанов, Автореф. докт. дисс. ХГУ, Харьков, 1940.
- [148] И. К. Ушенко, М. Ф. Сердюк, Укр. ХЖ, 1950, 16, 446.
- [149] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Н. И. Широкова, Н. А. Дамир, Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 18.
- [150] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Н. И. Широкова, Н. А. Дамир, ДАН СССР, 1963, 148, 1091.
- [151] Н. И. Широкова, И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, ЖВХО им. Менделеева, 1962, 7, 587.
- [152] М. В. Дейчмейстер, З. П. Сытник, И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, ЖОХ, 1954, 24, 900.
- [153] И. И. Левкоев, В. В. Дурмашкина, Н. А. Клейменов, Кинотехника, 1963, 4, 5.
- [154] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, Кинотехника, 1963, 4, 19.
- [155] А. И. Киприанов, З. П. Сытник, Е. Д. Смч, ЖОХ, 1936, 6, 576.
- [156] Л. М. Ягупольский, Б. Е. Груз, ЖОХ, 1967, 37, 2470.
- [157] И. К. Ушенко, А. И. Киприанов, Г. М. Оксенгендлер, Авт. свид. СССР 95286 (Бюлл. изобр., 1953, № 3); И. К. Ушенко, Н. Н. Усенко, Укр. ХЖ, 1950, 16, 441.
- [158] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1959, 29, 3364.
- [159] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1961, 31, 2869.
- [160] А. И. Киприанов, Г. Г. Дядюша, ЖОХ, 1959, 29, 1708.
- [161] А. И. Киприанов, Я. Штец, ЖОХ, 1963, 33, 3519.
- [162] А. И. Толмачев, Л. В. Щеглова, ЖОХ, 1963, 33, 448.
- [163] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Б. С. Портная, Э. Б. Лифшиц, ДАН СССР, 1952, 84, 733.
- [164] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, А. Ф. Вомпе, Б. С. Портная, ДАН СССР, 1953, 88, 281.
- [165] З. П. Сытник, М. С. Любич, А. А. Абдуллаев, Э. Б. Лифшиц, М. К. Гречко, Ю. Б. Виленский, Р. В. Тимофеева, Кинотехника, 1963, 4, 54; З. П. Сытник, Э. Б. Лифшиц, Р. А. Герштейн, М. С. Любич, Г. А. Афанасьева, ХГС, 1970, 142.
- [166] З. П. Сытник, Э. Б. Лифшиц, Л. Д. Жилина, Тез. докл. на V укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 39.
- [167] З. П. Сытник, Л. Д. Жилина, Э. Б. Лифшиц, ДАН СССР, 1957, 114, 343.
- [168] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Н. А. Широкова, ДАН СССР, 1963, 153, 350.
- [169] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, В. В. Дурмашкина, Г. Ф. Куркина, Авт. свид. СССР 184614 и 184615 (Бюлл. изобр., 1966, № 15).
- [170] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, Тез. докл. на Совещ. по хим. сенс. и сенс. биол. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 10.
- [171] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, ЖВХО им. Менделеева, 1962, 7, 582.
- [172] Ф. С. Бабичев, А. И. Киприанов, ЖОХ, 1958, 28, 209; 1964, 34, 2759.
- [173] А. И. Киприанов, Ю. С. Розум, сб. работ ИОХ АН УССР, 1947, 13, 29.
- [174] З. П. Сытник, Н. И. Лыкова, М. А. Альперович, Авт. свид. СССР 166078 (Бюлл. изобр., 1964, № 21); З. П. Сытник, Г. А. Афанасьева, Авт. свид. СССР 191715 (Бюлл. изобр., 1967, № 4).
- [175] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1947, 17, 2201.
- [176] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1950, 20, 134, 514.
- [177] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, Изв. АН СССР, ОХН, 1950, 492.
- [178] И. К. Ушенко, А. В. Стеценко, Е. Н. Рубцова, Укр. ХЖ, 1954, 20, 530.
- [179] И. К. Ушенко, Укр. ХЖ, 1954, 20, 384; И. К. Ушенко, М. С. Маренец, там же, 1954, 20, 535.
- [180] А. И. Киприанов, Ж. М. Иванова, С. Г. Фридман, Укр. ХЖ, 1954, 20, 641.
- [181] И. К. Ушенко, Сб. раб. чл. ВХО им. Менделеева, 1952, № 2, 13.
- [182] В. М. Зубаровский, ЖОХ, 1951, 21, 2063.
- [183] А. И. Киприанов, Е. Д. Смч, Зап. Инст. хим. АН УССР, 1946, 8, № 2, 103.
- [184] А. И. Киприанов, Е. Д. Смазная-Ильина, Г. Г. Дядюша, Укр. ХЖ, 1955, 21, 726.
- [185] А. И. Киприанов, М. Г. Сулейманова, Укр. ХЖ, 1967, 33, 589.
- [186] Е. Д. Смч, Л. П. Уманская, Укр. ХЖ, 1968, 34, 604.
- [187] Н. И. Широкова, Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, ДАН СССР, 1965, 162, 603.
- [188] Л. М. Ягупольский, Б. Е. Груз, ЖОХ, 1961, 31, 3955.
- [189] И. К. Ушенко, Укр. ХЖ, 1948, 14, 50; 1950, 16, 540; 1954, 20, 384.
- [190] И. К. Ушенко, Сб. раб. чл. ВХО им. Менделеева, 1950, № 2, 31.
- [191] И. К. Ушенко, Сб. раб. чл. ВХО им. Менделеева, 1951, № 2, 27.
- [192] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1952, 22, 870.
- [193] И. К. Ушенко, И. П. Дмитриенко, Сб. ст. по общ. хим., 1953, 1, 650.
- [194] И. К. Ушенко, Укр. ХЖ, 1956, 22, 76.
- [195] И. К. Ушенко, Л. Т. Белых, Сб. раб. чл. ВХО им. Менделеева, 1951, № 2, 29.
- [196] Е. Д. Смч, Л. П. Уманская, Укр. ХЖ, 1965, 31, 201.
- [197] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1952, 22, 711.
- [198] Г. Г. Дядюша, Укр. ХЖ, 1964, 30, 1186.
- [199] И. И. Левкоев, В. В. Дурмашкина, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 21.
- [200] Э. Б. Лифшиц, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 62.
- [201] И. И. Левкоев, В. В. Дурмашкина, Авт. свид. СССР 105639 (Бюлл. изобр., 1963, № 22).
- [202] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, В. В. Дурмашкина, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 107725 (Бюлл. изобр., 1957, № 11).
- [203] Л. Т. Боголюбская, Р. В. Тимофеева, З. П. Сытник, Авт. свид. СССР 174065 (Бюлл. изобр., 1965, № 16); Л. Т. Боголюбская, В. А. Боголюбский, З. П. Сытник, Ж. орг. Х, 1966, 2, 1315.
- [204] И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, В. В. Дурмашкина, А. Г. Вакар, М. В. Крылова, Авт. свид. СССР 188297 (Бюлл. изобр., 1966, № 21).
- [205] Л. Т. Боголюбская, В. А. Боголюбский, Авт. свид. СССР 177769 (Бюлл. изобр., 1967, № 1).
- [206] И. К. Ушенко, Сб. раб. чл. ВХО им. Менделеева, 1953, № 2, 1.
- [207] И. К. Ушенко, Укр. ХЖ, 1955, 21, 739.
- [208] А. И. Киприанов, Ф. И. Асияна, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1948, 18, 165.
- [209] Г. Т. Пилюгин, З. Я. Крайнер, ДАН СССР, 1951, 81, 609.
- [210] Г. Т. Пилюгин, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, 512, 520, 736.
- [211] Г. Т. Пилюгин, Е. П. Опанасенко, Укр. ХЖ, 1952, 18, 625; Уч. зап. Черновицк. ун-т., 1956, 20, сер. хим., 4, 68.
- [212] Г. Т. Пилюгин, Изв. АН СССР, ОХН, 1953, 1068; ЖОХ, 1955, 25, 793.
- [213] Г. Т. Пилюгин, Н. А. Цветкова, Уч. зап. Черновицк. ун-т., 1956, 20, сер. хим., 4, 59; Г. Т. Пилюгин, Е. П. Опанасенко, Н. А. Цветкова, ЖОХ, 1957, 27, 1018.
- [214] Г. Т. Пилюгин, Е. П. Опанасенко, Тез. докл. на VI укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, стр. 60.
- [215] Г. Т. Пилюгин, Б. М. Гуцуляк, ЖОХ, 1959, 29, 3076; 1960, 30, 1299; 1961, 31, 623.
- [216] Г. Т. Пилюгин, Б. М. Гуцуляк, ЖОХ, 1962, 32, 1050.
- [217] Г. Т. Пилюгин, Б. М. Гуцуляк, А. В. Злочевская, ЖОХ, 1962, 32, 2200.
- [218] Г. Т. Пилюгин, Б. М. Гуцуляк, Усп. хим., 1963, 32, 389.
- [219] Г. Т. Пилюгин, И. Н. Чернюк, Б. М. Гуцуляк, Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 28.
- [220] О. М. Сташкевич, Г. Т. Пилюгин, Укр. ХЖ, 1967, 33, 614.
- [221] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, Уч. зап. Киевск. гос. ун-т., хим. сб., 1949, 5, 35.
- [222] Ф. С. Бабичев, В. М. Неплюев, ЖОХ, 1962, 32, 860.
- [223] Ф. С. Бабичев, В. А. Боголюбский, В. К. Кибирев, Ф. А. Михайленко, ЖОХ, 1962, 32, 2793.
- [224] Ф. С. Бабичев, ЖОХ, 1963, 33, 3016.
- [225] Ф. С. Бабичев, Н. В. Джигирей, С. П. Гукалов, ЖОХ, 1964, 34, 2433.
- [226] Ф. С. Бабичев, Э. Щецинская, ЖОХ, 1964, 34, 2441.

- [227] Ф. С. Бабичев, Ф. А. Михайленко, В. К. Кибирев, В. А. Баголюбский, Укр. ХЖ, 1966, 32, 204, 991.
- [228] Ф. С. Бабичев, В. П. Хизя, Ж. орг. Х, 1965, 1, 582.
- [229] В. П. Хизя, Г. П. Кутров, Ф. С. Бабичев, ХГС, 1967, 1043.
- [230] А. И. Киприанов, В. П. Хизя, Ж. орг. Х, 1966, 2, 1474.
- [231] А. И. Киприанов, В. П. Хизя, Ж. орг. Х, 1966, 2, 1478.
- [232] А. И. Киприанов, В. П. Хизя, Ж. орг. Х, 1967, 3, 1091.
- [233] А. И. Киприанов, Т. М. Вербовская, ЖОХ, 1962, 32, 3946.
- [234] А. И. Киприанов, В. П. Хизя, Ж. орг. Х, 1967, 3, 1097.
- [235] А. И. Киприанов, Е. Д. Смч, Тр. Инст. хим. ХГУ, 1936, 2, 25.
- [236] В. Е. Петрунькин, Тр. Инст. хим. ХГУ, 1940, 5, 159.
- [237] И. И. Левкоев, А. Ф. Вомпе, Н. Н. Свешников, Н. С. Барвиль, ЖОХ, 1952, 22, 879.
- [238] А. И. Киприанов, И. Н. Жмурова, ЖОХ, 1953, 23, 874.
- [239] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Е. З. Кулик, Т. В. Краснова, ЖОХ, 1957, 27, 3097.
- [240] Т. Г. Гиевцева, И. И. Левкоев, ДАН СССР, 1962, 146, 1081.
- [241] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, И. К. Гици, В. В. Дурмашкина, Н. С. Барвиль, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 5.
- [242] А. И. Киприанов, И. Н. Жмурова, ДАН СССР, 1952, 85, 789.
- [243] А. И. Киприанов, И. Н. Жмурова, ЖОХ, 1953, 23, 493.
- [244] И. Н. Жмурова, Ж. М. Иванова, Укр. ХЖ, 1955, 21, 504.
- [245] А. И. Киприанов, Л. М. Ягупольский, ЖОХ, 1952, 22, 2209.
- [246] Л. М. Ягупольский, Тез. докл. на IV укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1955, стр. 26.
- [247] Л. М. Ягупольский, В. И. Троицкая, Тез. докл. на VI укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1959, стр. 69.
- [248] Л. М. Ягупольский, В. П. Назаретян, Укр. ХЖ, 1967, 33, 617.
- [249] Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Д. Я. Народицкая, Л. М. Ягупольский, Н. С. Барвиль, Тр. Конф. по теории и технол. фотогр. процессов, Закопане, 1968, № 18; Тр. Госнихимфотопроекта, 1968, 1, 79.
- [250] Л. М. Ягупольский, В. И. Троицкая, И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, П. А. Юфа, Н. С. Барвиль, ЖОХ, 1967, 37, 191.
- [251] В. М. Зубаровский, Т. М. Вербовская, А. И. Киприанов, ЖОХ, 1961, 31, 3056.
- [252] В. М. Зубаровский, В. П. Бачуринна, ЖОХ, 1964, 34, 3801.
- [253] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1960, 30, 2650.
- [254] И. К. Ушенко, Научн. зап. Донецк. инст. сов. торг., сер. товаровед. и технол. наук, 1962, 14, 153.
- [255] Л. М. Ягупольский, Н. В. Кондратенко, Ю. А. Филалков, ЖОХ, 1966, 36, 828.
- [256] М. А. Альперович, И. К. Ушенко, Л. Н. Тюринна, ЖОХ, 1959, 29, 3376.
- [257] А. Т. Трощенко, ЖОХ, 1939, 9, 1661.
- [258] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1950, 75, 231.
- [259] Е. Д. Смч, Тез. докл. на IV укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1955, стр. 34.
- [260] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1956, 22, 80, 217.
- [261] Е. Д. Смч, Тез. докл. на V укр. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 47.
- [262] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1958, 24, 79, 89, 93.
- [263] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1959, 25, 344.
- [264] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1959, 25, 767.
- [265] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 12.
- [266] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1961, 31, 2861.
- [267] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1961, 27, 83.
- [268] Е. Д. Смч, А. И. Киприанов, ЖОХ, 1961, 31, 3926.
- [269] М. А. Альперович, Л. Т. Боголюбская, ЖОХ, 1964, 34, 645; Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. киноформат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 21; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 90.
- [270] З. П. Смиттик, И. И. Левкоев, Т. Г. Гиевцева, К. И. Покровская, Авт. свид. СССР 104295 (Бюлл. изобр., 1963, № 16).
- [271] Т. Г. Гиевцева, И. И. Левкоев, Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. киноформат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 17.
- [272] Т. Г. Гиевцева, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, З. П. Смиттик, Кинотехника, 1963, 4, 37.
- [273] Т. Г. Гиевцева, И. И. Левкоев, Тез. докл. на Всес. межвуз. конф. «Связь химического строения и свойств в ряду азотосодержащих гетероциклических соединений», Свердловск, 1967, стр. 140.
- [274] Э. Б. Лифшиц, Н. Н. Свешников, Г. Ф. Курепина, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 120427 (Бюлл. изобр., 1959, № 10).
- [275] И. К. Ушенко, М. А. Альперович, Тез. докл. на V укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 42.
- [276] М. А. Альперович, М. К. Гречко, Л. Н. Тюринна, И. К. Ушенко, Авт. свид. СССР 117375 (Бюлл. изобр., 1959, № 2); 124307 (там же, 1959, № 22).
- [277] И. К. Ушенко, С. Е. Горностаева, ЖОХ, 1958, 28, 1668.
- [278] М. А. Альперович, И. К. Ушенко, Л. Н. Тюринна, ЖОХ, 1958, 28, 2538.
- [279] И. К. Ушенко, Тез. докл. на VI укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1959, стр. 62.
- [280] М. А. Альперович, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1959, 29, 3384.
- [281] М. А. Альперович, И. К. Ушенко, Л. Н. Тюринна, М. К. Гречко, ЖОХ, 1959, 29, 3606; Л. Н. Тюринна, М. А. Альперович, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1962, 32, 70.
- [282] М. А. Альперович, Ю. А. Наумов, И. К. Ушенко, Тез. докл. на VI укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1959, стр. 64.
- [283] М. А. Альперович, Ю. А. Наумов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1961, 31, 1344; М. А. Альперович, М. К. Гречко, Ю. А. Наумов, Тез. докл. на Совещ. по хим. сенсibil. и сенсibilиз. киноформат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 35; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 410.
- [284] Е. Д. Смч, Е. Д. Смазан-Ильина, ЖОХ, 1963, 33, 74.
- [285] И. К. Ушенко, ЖОХ, 1961, 31, 2854.
- [286] Е. Д. Смч, Е. Д. Смазан-Ильина, Укр. ХЖ, 1962, 28, 1087.
- [287] М. А. Альперович, М. К. Гречко, Л. Т. Боголюбская, Авт. свид. СССР, 124306 (Бюлл. изобр., 1959, № 22).
- [288] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, Е. Д. Смч, ЖОХ, 1945, 15, 200.
- [289] А. И. Киприанов, Б. И. Дашевская, Сб. раб. ИОХ АН УССР, 1947, 13, 3; ЖОХ, 1949, 19, 1158.
- [290] А. И. Киприанов, С. Г. Фридман, Л. С. Пупко, Сб. раб. ИОХ АН УССР, 1947, 13, 40.
- [291] А. П. Тисельский, Укр. ХЖ, 1958, 24, 648.
- [292] М. А. Альперович, З. И. Мирошниченко, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1959, 29, 989.
- [293] А. И. Киприанов, Г. М. Голубушина, Укр. ХЖ, 1963, 29, 1173.
- [294] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, С. А. Хейфец, ЖОХ, 1946, 16, 1489.
- [295] И. И. Левкоев, В. Г. Жиряков, Н. Н. Свешников, Н. С. Барвиль, Сб. ст. по общ. хим., 1959, 2, 1263.
- [296] И. И. Левкоев, З. П. Смиттик, С. В. Натансон, В. В. Дурмашкина, Т. В. Краснова, Р. С. Шусер, ЖОХ, 1954, 24, 2034.
- [297] Е. П. Опанасенко, Науч. Зап. Чернівецьк. держ. унів., сер. хім., 1955, 11, вып. 2, 68.
- [298] Е. Д. Смч, Л. П. Уманская, ЖОХ, 1964, 34, 2068.
- [299] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, В. В. Дурмашкина, ЖОХ, 1944, 14, 198.
- [300] С. В. Натансон, Н. И. Сееникова, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 34; Э. Ф. Клизо, С. В. Натансон, Кинотехника, 1963, 2, 40.
- [301] М. А. Альперович, Ю. Б. Виленский, М. К. Гречко, З. И. Мирошниченко, Авт. свид. СССР 116013 (Бюлл. изобр., 1958, № 11).
- [302] Л. М. Ягупольский, В. И. Троицкая, ЖОХ, 1957, 27, 518.
- [303] Л. М. Ягупольский, ЖОХ, 1959, 29, 1312.
- [304] Л. М. Ягупольский, Г. И. Ключник, В. И. Троицкая, ЖОХ, 1964, 34, 307.
- [305] Л. М. Ягупольский, А. И. Киприанов, ЖОХ, 1952, 22, 2216.
- [306] Л. М. Ягупольский, М. С. Маренец, ЖОХ, 1955, 25, 1771.
- [307] Л. М. Ягупольский, Э. Б. Лифшиц, Н. В. Кондратенко, Р. В. Тимофеева, Г. Ф. Курепина, Авт. свид. СССР 168989 (Бюлл. изобр., 1965, № 5).
- [308] Л. М. Ягупольский, В. И. Троицкая, Б. Е. Груз, Н. В. Кондратенко, ЖОХ, 1965, 35, 1644.
- [309] А. И. Киприанов, Е. Д. Смч, Сб. раб. ИОХ АН УССР, 1947, 13, 17.
- [310] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1948, 14, 45.
- [311] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1948, 14, 107.
- [312] Е. Д. Смч, Тез. докл. на I укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1949, стр. 22.
- [313] И. И. Левкоев, С. А. Хейфец, Н. С. Барвиль, ЖОХ, 1951, 21, 1340.
- [314] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1952, 18, 148.
- [315] Е. Д. Смч, Укр. ХЖ, 1952, 18, 159.

- [316] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Н. С. Барвынь, ДАН СССР, 1952, 85, 805.
- [317] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Н. С. Барвынь, Т. В. Краснова, ЖОХ, 1960, 30, 291.
- [318] Е. Д. Смыч, Укр. ХЖ, 1953, 19, 643.
- [319] Е. Д. Смыч, Укр. ХЖ, 1953, 19, 657.
- [320] А. И. Киприанов, Е. Д. Смыч, Тр. Инст. хим. ХГУ, 1936, 2, 16.
- [321] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1945, 15, 684.
- [322] А. И. Киприанов, Научн. зап. Киевск. гос. унив., 1946, 5, № 2, 135.
- [323] Г. Т. Пилюгин, З. Я. Крайнер, Уч. зап. Черновицк. гос. унив., сер. хим., 6, 1950, № 1, 213; ЖОХ, 1953, 23, 634.
- [324] И. И. Левкоев, Б. С. Портная, ЖОХ, 1951, 21, 2050.
- [325] Е. Д. Смыч, Укр. ХЖ, 1953, 19, 652.
- [326] З. П. Смытник, Л. Д. Жилина, ЖОХ, 1957, 27, 215.
- [327] А. П. Тисельский, Укр. ХЖ, 1958, 24, 749.
- [328] Н. С. Спасокукоцкий, Е. С. Козлова, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 70.
- [329] Н. Ф. Турицына, И. И. Левкоев, ДАН СССР, 1949, 66, 871.
- [330] Н. Ф. Турицына, И. И. Левкоев, ЖОХ, 1952, 22, 309.
- [331] А. И. Киприанов, Л. М. Ягупольский, ЖОХ, 1950, 20, 2111.
- [332] С. В. Натансон, ДАН СССР, 1956, 106, 497.
- [333] Э. Б. Лифшиц, Л. М. Ягупольский, Д. Я. Народицкая, В. И. Троицкая, Н. С. Барвынь, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 280.
- [334] Л. М. Ягупольский, А. Г. Галушко, В. И. Троицкая, ЖОХ, 1968, 38, 1736.
- [335] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 452.
- [336] С. В. Натансон, М. М. Костина, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 50.
- [337] А. В. Стеценко, Ю. И. Богадист, Укр. ХЖ, 1960, 26, 92.
- [338] А. В. Стеценко, В. К. Ляшко, Укр. ХЖ, 1962, 28, 218.
- [339] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, Кинотехника, 1963, 2, 36.
- [340] С. В. Натансон, Н. И. Сенникова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 119.
- [341] Э. Б. Лифшиц, Д. Я. Народицкая, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 119.
- [342] К. И. Покровская, И. И. Левкоев, С. В. Натансон, ЖФХ, 1956, 30, 161.
- [343] А. И. Киприанов, М. Г. Сулейманова, Укр. ХЖ, 1965, 31, 1281.
- [344] В. М. Зубаровский, Г. П. Ходот, ЖОХ, 1964, 34, 380.
- [345] В. М. Зубаровский, Г. П. Ходот, ЖОХ, 1962, 32, 1574.
- [346] А. В. Стеценко, Л. И. Фалилеева, Укр. ХЖ, 1966, 32, 853.
- [347] И. К. Ушенко, Л. И. Човник, ЖОХ, 1960, 30, 2665.
- [348] И. К. Ушенко, Л. И. Човник, ЖОХ, 1960, 30, 2658.
- [349] Е. Д. Смыч, Е. К. Перковская, Ж. орг. Х, 1965, 1, 1479.
- [350] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1945, 15, 207.
- [351] Е. Д. Смыч, Ж. Н. Белая, Укр. ХЖ, 1962, 28, 362.
- [352] Э. Б. Лифшиц, Л. М. Ягупольский, И. И. Левкоев, П. А. Юфа, Д. Я. Народицкая, Авт. свид. СССР 167746 (Бюлл. изобр., 1965, № 2).
- [353] И. К. Ушенко, К. Д. Жихарева, Ф. З. Родова, Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 25; ЖОХ, 1963, 33, 798.
- [354] Е. Д. Смыч, Е. Д. Смазная-Ильина, ЖОХ, 1962, 32, 984.
- [355] И. К. Ушенко, К. Д. Жихарева, Сб. раб. чл. ВХО им. Менделеева, 1953, № 2, 1; ЖОХ, 1962, 32, 3656.
- [356] В. М. Зубаровский, ЖОХ, 1959, 29, 2018.
- [357] В. М. Зубаровский, Ю. П. Маковецкий, Укр. ХЖ, 1968, 34, 1151.
- [358] В. М. Зубаровский, Р. Н. Москалева, М. П. Бачурина, Укр. ХЖ, 1964, 30, 80.
- [359] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, ЖОХ, 1946, 16, 1655.
- [360] Е. Д. Смыч, Л. П. Уманская, Е. К. Перковская, Укр. ХЖ, 1967, 33, 68.
- [361] Е. Д. Смыч, Л. П. Уманская, Укр. ХЖ, 1962, 28, 714.
- [362] И. Л. Киулици, Ю. П. Евграфов, ЖОХ, 1940, 10, 1333.
- [363] А. В. Стеценко, В. Г. Моторный, Укр. ХЖ, 1967, 33, 722.
- [364] И. И. Левкоев, В. В. Дурмашкина, ЖОХ, 1945, 15, 215.
- [365] А. В. Стеценко, А. Д. Курбатова, Укр. ХЖ, 1958, 24, 354.
- [366] А. В. Стеценко, Укр. ХЖ, 1959, 25, 623.
- [367] Е. Д. Смыч, А. А. Шулежо, А. И. Киприанов, Укр. ХЖ, 1962, 28, 213.
- [368] А. В. Стеценко, Л. И. Кравец, Укр. ХЖ, 1964, 30, 75.
- [369] Л. М. Ягупольский, В. И. Троицкая, ЖОХ, 1961, 31, 628.
- [370] А. И. Киприанов, А. В. Стеценко, Укр. ХЖ, 1953, 19, 508.
- [371] А. И. Киприанов, А. В. Стеценко, Укр. ХЖ, 1953, 19, 517.
- [372] А. В. Стеценко, Г. В. Чернявский, Укр. ХЖ, 1961, 27, 237.
- [373] А. В. Стеценко, В. А. Коринько, Укр. ХЖ, 1964, 30, 944.
- [374] А. И. Киприанов, А. В. Стеценко, Е. Д. Смыч, Укр. ХЖ, 1956, 22, 760.
- [375] А. И. Киприанов, Т. М. Вербовская, И. Л. Мушкало, Ж. орг. Х, 1967, 3, 2036.
- [376] А. И. Киприанов, И. Л. Мушкало, Ф. А. Михайленко, Ж. орг. Х, 1967, 3, 2041.
- [377] А. И. Киприанов, Л. А. Лазукина, Укр. ХЖ, 1968, 34, 795.
- [378] С. Г. Фридман, А. И. Киприанов, Ж. орг. Х, 1968, 4, 696.
- [379] А. В. Стеценко, В. И. Иванова, Укр. ХЖ, 1956, 22, 772.
- [380] В. А. Гладкая, Ю. С. Розум, Укр. ХЖ, 1967, 33, 1287.
- [381] Ю. С. Розум, В. А. Гладкая, Укр. ХЖ, 1966, 32, 1200.
- [382] Л. К. Мушкало, Н. К. Михайлюченко, Укр. ХЖ, 1964, 30, 608.
- [383] Ф. С. Бабичев, Я. Антош, Укр. ХЖ, 1968, 34, 933.
- [384] И. К. Ушенко, В. А. Портнягина, Укр. ХЖ, 1955, 21, 744.
- [385] А. И. Киприанов, Р. С. Шусер, Уч. зап. ХГУ, 1936, 4, 49.
- [386] А. И. Киприанов, Введение в электронную теорию органических соединений. Изд. «Наукова думка», Киев, 1965, стр. 145—178.
- [387] А. И. Киприанов, Г. Т. Пилюгин, Уч. зап. ХГУ, 1937, 10, 91; Бюлл. ВХО им. Менделеева, 1939, № 3—4, 60.
- [388] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1945, 15, 684; А. И. Киприанов, Уч. зап. Киевск. гос. унив., 1946, 5, № 2, 135.
- [389] А. И. Киприанов, Укр. ХЖ, 1952, 18, 339.
- [390] L. G. S. Brooker, Rev. Modern. Phys., 1942, 14, 275; L. G. S. Brooker, R. G. Sprague, H. Cressman, J. Am. Chem. Soc., 1945, 67, 1890.
- [391] А. И. Киприанов, В. Е. Петруньки, ДАН УССР, ОФХМН, 1939, № 4, 27.
- [392] А. И. Киприанов, В. Е. Петруньки, ЖОХ, 1940, 10, 600, 613.
- [393] А. И. Киприанов, Н. К. Маньковская, Бюлл. ВХО им. Менделеева, 1941, № 5, 22.
- [394] А. И. Киприанов, Е. С. Тимошенко, ЖОХ, 1947, 17, 1468; Укр. ХЖ, 1952, 18, 347.
- [395] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Э. Б. Лифшиц, ДАН СССР, 1950, 74, 275.
- [396] В. Г. Жиряков, И. И. Левкоев, ЖОХ, 1954, 24, 710.
- [397] А. И. Киприанов, Усп. хим., 1960, 29, 1336.
- [398] L. G. S. Brooker, Frontiers in Chemistry, 3, Intersc. Publish. Inc., N. Y., 1945, p. 63.
- [399] L. G. S. Brooker, G. H. Sprague, R. H. van Dyke, E. van Lage, J. Am. Chem. Soc., 1951, 73, 5332.
- [400] М. В. Дейчмейстер, И. И. Левкоев, Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, ДАН СССР, 1953, 93, 1057.
- [401] А. И. Киприанов, Acta Univ. Debrecen de Ludovico, 1966, 95.
- [402] А. И. Киприанов, Г. Г. Дядюша, Ф. А. Михайленко, Усп. хим., 1966, 35, 823.
- [403] А. И. Киприанов, В. А. Шрубович, ЖОХ, 1956, 26, 2891; 1959, 29, 1290.
- [404] А. И. Киприанов, Л. П. Яковлева, Ю. С. Розум, ЖОХ, 1952, 22, 302.
- [405] А. И. Киприанов, А. И. Толмачев, Укр. ХЖ, 1959, 25, 337.
- [406] L. G. S. Brooker, F. L. White, R. H. Sprague, S. G. Dent, G. van Zandt, Chem. Rev., 1947, 41, 325.
- [407] L. G. S. Brooker, F. L. White, D. W. Neseltine, G. H. Keyes, S. G. Dent, E. J. van Lage, J. Phot. Sci., 1953, 1, 173.
- [408] А. И. Киприанов, И. Л. Мушкало, Ж. орг. Х, 1965, 1, 744, 750.
- [409] А. I. Kiprianov, C. r. XXXVI Intern. Congr. Chim. Industr., Brussel, 1967; Ind. Chim. Belge, 1967, 32, Special, № 3, 100.
- [410] А. И. Киприанов, Л. А. Лазукина, ХГС, 1968, 240.
- [411] В. А. Измаильский, Е. А. Смирнов, ЖОХ, 1936, 6, 513, 523; Bull. Soc. Chim. (5), 1937, 4, 81, 84.
- [412] В. А. Измаильский, Тр. IV совещ. по анилокрас. хим. 1939 г., 1941, стр. 41; ДАН СССР, 1940, 26, 906, 912; ЖОХ, 1943, 13, 865.
- [413] В. А. Измаильский, Тр. VIII совещ. по анилокрас. хим. 1947 г., 1950, стр. 88.
- [414] В. А. Измаильский, П. А. Солодков, ДАН СССР, 1948, 60, 587; 1950, 75, 391.

- [416] В. А. Измаильский, К. А. Нуридджания, Ю. Ш. Мошковский, в сб.: Физ. пробл. спектроскопии, Матер. XIII совещ., Л., 1960 г., 1, Изд. АН СССР, М., 1962, стр. 262.
- [417] В. А. Измаильский, Ю. А. Федоров, в сб.: Азотисты, Матер. симп. «Строение, свойства и применение азотистов», Харьков, 1965 г., Изд. Ростовск. ун-та, 1967, стр. 93; В. А. Измаильский, Э. И. Федорова, там же, стр. 80.
- [418] Я. И. Михайленко, Б. Миофьев, ЖРФХО, 1929, 61, 2269.
- [419] А. Ф. Вомпе, ДАН СССР, 1948, 60, 803.
- [420] А. И. Киприанов, И. Л. Мушкало, ЖОХ, 1962, 32, 4040.
- [421] С. Г. Фридман, ЖОХ, 1962, 32, 1461.
- [422] С. Г. Фридман, ЖОХ, 1963, 33, 207.
- [423] С. Г. Фридман, Д. К. Голубь, ЖОХ, 1964, 34, 280.
- [424] С. Г. Фридман, ЖОХ, 1961, 31, 1096.
- [425] С. Г. Фридман, Л. И. Котова, ЖОХ, 1962, 32, 2871.
- [426] С. Г. Фридман, Д. К. Голубь, ХГС, 1965, 713.
- [427] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, ЖОХ, 1947, 17, 1539.
- [428] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, А. Ф. Вомпе, Б. С. Портная, В. В. Дурмашкина, Авт. свид. СССР 93507 (Бюлл. изобр., 1954, № 4); А. Ф. Вомпе, Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Л. В. Иванова, Авт. свид. СССР 93461 (Бюлл. изобр., 1952, № 4).
- [429] И. И. Левкоев, М. В. Дейчмейстер, Н. Н. Свешников, Тез. докл. на V укр. республ. конф. по орг. хим., Киев 1957, стр. 35; ДАН СССР, 1959, 129, 331; И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Тр. НИКФИ, 1944, 7, 13; А. В. Казымов, Е. П. Щелкина, Р. Х. Хайрусова, Н. Н. Свешников, Авт. свид. СССР 172333 (Бюлл. изобр., 1965, № 13); А. В. Казымов, Р. Х. Хайрусова, Е. П. Щелкина, Авт. свид. СССР 187800 (Бюлл. изобр., 1966, № 21).
- [430] А. В. Казымов, Э. Б. Сумская, Авт. свид. СССР 181122 (Бюлл. изобр., 1966, № 9); А. В. Казымов, Е. П. Щелкина, Авт. свид. СССР 202149 (Бюлл. изобр., 1967, № 19).
- [431] А. В. Казымов, Е. П. Щелкина, Авт. свид. СССР 191566 (Бюлл. изобр., 1967, № 4).
- [432] Н. Н. Свешников, А. Ф. Вомпе, И. И. Левкоев, Р. А. Герштейн, Авт. свид. СССР 89025 (Бюлл. изобр., 1951, № 2); Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, М. В. Дейчмейстер, А. Ф. Вомпе, Авт. свид. СССР 92159 (Бюлл. изобр., 1951, № 10).
- [433] И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, А. Ф. Вомпе, Б. С. Портная, Авт. свид. СССР 93374 (Бюлл. изобр., 1952, № 2-3); Н. Н. Свешников, А. Ф. Вомпе, И. И. Левкоев, Б. С. Портная, Авт. свид. СССР 93460 (Бюлл. изобр., 1952, № 4).
- [434] А. Ф. Вомпе, И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, Л. В. Иванова, Авт. свид. СССР 89799 (Бюлл. изобр., 1951, № 2).
- [435] Н. Н. Свешников, А. Ф. Вомпе, И. И. Левкоев, Л. В. Иванова, Авт. свид. СССР 93582 (Бюлл. изобр., 1952, № 4).
- [436] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, В. Г. Жиряков, А. Ф. Вомпе, Авт. свид. СССР 94274 (Бюлл. изобр., 1952, № 9).
- [437] Н. Н. Свешников, Т. Г. Гневьева, И. И. Левкоев, М. В. Дейчмейстер, Авт. свид. СССР 93725 (Бюлл. изобр., 1952, № 5).
- [438] Н. Н. Свешников, С. А. Хейфец, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 107123 (Бюлл. изобр., 1957, № 6).
- [439] Н. Н. Свешников, С. А. Хейфец, Тез. докл. на V укр. республ. конф. по орг. хим. Киев, 1957, стр. 37.
- [440] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, ДАН СССР, 1965, 163, 1177.
- [441] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, Авт. свид. СССР 157450 (Бюлл. изобр., 1963, № 18).
- [442] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, Авт. свид. СССР 162902 и 162903 (Бюлл. изобр., 1964, № 11).
- [443] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 94862 (Бюлл. изобр., 1953, № 1); Н. Н. Свешников, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 115667 (Бюлл. изобр., 1958, № 10).
- [444] А. В. Казымов, Э. Б. Сумская, Авт. свид. СССР 183212 (Бюлл. изобр., 1966, № 13); 188498 (Бюлл. изобр., 1966, № 22).
- [445] А. В. Казымов, Э. Б. Сумская, Е. П. Щелкина, Авт. свид. СССР 192020 (Бюлл. изобр., 1967, № 4); А. В. Казымов, Э. Б. Сумская, Е. П. Щелкина, И. Н. Сергеева, Авт. свид. СССР 195316 (Бюлл. изобр., 1967, № 9).
- [446] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, ХГС, 1968, 236.
- [447] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, И. К. Ушенко, А. В. Бутузова, Авт. свид. СССР 206583 (Бюлл. изобр., 1968, № 1).

- [448] С. А. Хейфец, Н. Н. Свешников, И. К. Ушенко, А. В. Бутузова, Авт. свид. СССР 213575 (Бюлл. изобр., 1968, № 10).
- [449] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, А. Ф. Вомпе, Авт. свид. СССР 94257 (Бюлл. изобр., 1952, № 9); 95341 (Бюлл. изобр., 1953, № 3).
- [450] М. В. Дейчмейстер, Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 102811 (Бюлл. изобр., 1970, № 5).
- [451] А. Ф. Вомпе, Н. В. Моич, Н. Ф. Турицyna, Л. В. Иванова, Тез. докл. на V укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1957, стр. 25; в сб.: Хим., технол. и прим. прозав. шридина и химиол., Изд. АН ЛССР, Рига, 1960, стр. 193.
- [452] А. Ф. Вомпе, Н. В. Моич, Н. Ф. Турицyna, Л. В. Иванова, ДАН СССР, 1957, 114, 1235; Tetrahedron, 1958, 2, 361; А. Ф. Вомпе, Н. В. Моич, Н. Ф. Турицyna, ЖОХ, 1959, 29, 3510.
- [453] А. Ф. Вомпе, Н. В. Моич, Авт. свид. СССР 126884 (Бюлл. изобр., 1960, № 6); 136377 (Бюлл. изобр., 1961, № 5) и 154280 (Бюлл. изобр., 1963, № 9).
- [454] Н. В. Моич, А. Ф. Вомпе, Тез. докл. на совещ. по хим. сенс. и сенс. бил. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1952, стр. 18; А. Ф. Вомпе, Н. В. Моич, ДАН СССР, 1966, 170, 89.
- [455] А. Ф. Вомпе, Автореф. докт. дисс., НИКФИ, М., 1951.
- [456] А. Ф. Вомпе, Н. Ф. Турицyna, ДАН СССР, 1949, 64, 341; А. Ф. Вомпе, Н. Ф. Турицyna, И. И. Левкоев, ДАН СССР, 1949, 65, 839.
- [457] Н. Ф. Турицyna, А. Ф. Вомпе, ДАН СССР, 1950, 74, 509.
- [458] А. Ф. Вомпе, Н. Ф. Турицyna, ДАН СССР, 1957, 114, 1017; ЖОХ, 1957, 27, 3282; 1958, 28, 2864.
- [459] А. Ф. Вомпе, И. И. Левкоев, Н. Ф. Турицyna, В. В. Дурмашкина, Л. В. Иванова, ЖОХ, 1964, 34, 1758.
- [460] А. Ф. Вомпе, Л. В. Иванова, Г. Ф. Курепина, Авт. свид. СССР 122024 (Бюлл. изобр., 1959, № 16).
- [461] А. Ф. Вомпе, И. С. Лившиц, Тр. Госнихимфотопроект, 1968, 1, 4.
- [462] А. И. Киприанов, А. И. Толмачев, ЖОХ, 1959, 29, 2868.
- [463] А. И. Толмачев, ЖОХ, 1963, 33, 1864.
- [464] З. П. Сытник, Л. Д. Жилина, Авт. свид. СССР 113692 (Бюлл. изобр., 1961, № 9).
- [465] З. П. Сытник, Л. Д. Жилина, А. А. Абдуллаев, Авт. свид. СССР 115961 (Бюлл. изобр., 1958, № 11).
- [466] З. П. Сытник, А. А. Абдуллаев, Л. Д. Жилина, С. С. Каган, в сб.: Книготехника, 1963, 4, 81.
- [467] Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Н. И. Широкова, Авт. свид. СССР 136375 (Бюлл. изобр., 1961, № 5).
- [468] Н. Н. Свешников, Н. И. Широкова, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 137919 (Бюлл. изобр., 1961, № 9); Н. И. Широкова, Н. А. Дамир, Н. Н. Свешников, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 147706 (Бюлл. изобр., 1962, № 11); И. И. Левкоев, Н. И. Широкова, Н. Н. Свешников, Авт. свид. СССР 166354 (Бюлл. изобр., 1964, № 22).
- [469] Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Авт. свид. СССР 159531 (Бюлл. изобр., 1964, № 1).
- [470] Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Авт. свид. СССР 159530 (Бюлл. изобр., 1964, № 1); 189866 (Бюлл. изобр., 1967, № 1); 198337 (Бюлл. изобр., 1967, № 14); 216727 (Бюлл. изобр., 1968, № 15); Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 159532 (Бюлл. изобр., 1964, № 1).
- [471] Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Авт. свид. СССР 159845, 159846 (Бюлл. изобр., 1964, № 2); Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 159173 (Бюлл. изобр., 1963, № 24).
- [472] Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Авт. свид. СССР 162265 (Бюлл. изобр., 1964, № 9); 170596 (Бюлл. изобр., № 9); 203478 (Бюлл. изобр., 1967, № 20).
- [473] Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, Тез. докл. на совещ. по хим. сенс. бил. и сенс. бил. кинофотомат. АН УССР, Киев, 1962, стр. 8; Тез. докл. на VIII укр. респ. конф. по орг. хим., Львов, 1963, стр. 43.
- [474] Н. Н. Свешников, Н. А. Дамир, ДАН СССР, 1965, 164, 1077.
- [475] З. И. Шокол, Л. К. Мушкало, Укр. ХЖ, 1966, 32, 857.
- [476] А. И. Киприанов, И. К. Ушенко, А. Л. Гершунс, ЖОХ, 1944, 14, 865.
- [477] А. И. Киприанов, М. Ю. Корнилов, С. К. Михайлик, Ж. орг. Х, 1966, 2, 552.
- [478] А. И. Киприанов, А. А. Шулежко, Ж. орг. Х, 1966, 2, 1852.
- [479] А. И. Киприанов, З. Н. Пазенко, Сб. научн. раб. ИОХ АН УССР, 1947, 13, 68; ЖОХ, 1949, 19, 1515.
- [480] И. К. Ушенко, Сообщ. о работ. чл. ВХО им. Менделеева, 1952, № 2, 10.
- [481] И. К. Ушенко, Сб. ст. по общ. хим. АН СССР, 1953, 1, 516.

- [482] А. И. Киричанов, Ф. С. Бабичев, ЖОХ, 1950, 20, 145.
 [483] Ф. С. Бабичев, ЖОХ, 1950, 20, 1904.
 [484] Ф. С. Бабичев, Укр. ХЖ, 1950, 16, 188; Ф. С. Бабичев, Л. К. Кравченко, там же, 1950, 16, 199; Ф. С. Бабичев, Л. Д. Проценко, там же, 1951, 17, 755.
 [485] Ф. С. Бабичев, Н. А. Володина, Укр. ХЖ, 17, 761.
 [486] Ф. С. Бабичев, А. М. Матюшинцев, Д. Ф. Миронова, Укр. ХЖ, 1953, 19, 405; Ф. С. Бабичев, П. Н. Таран, Науч. зап. Кивиск. гос. ун-та, хим. сб., 1955, 6, 125.
 [487] Ф. С. Бабичев, Науч. зап. Кивиск. гос. ун-та, Хим. сб., 7, 1956, 205.
 [488] Л. К. Мушкало, Укр. ХЖ, 1951, 17, 751.
 [489] Л. К. Мушкало, И. П. Федорова, Укр. ХЖ, 1954, 20, 305.
 [490] Л. К. Мушкало, ЖОХ, 1958, 28, 507; Л. К. Мушкало, З. И. Шолох, ЖОХ, 1960, 30, 1023.
 [491] Л. К. Мушкало, Н. Я. Козлова, Укр. ХЖ, 1962, 28, 960.
 [492] Л. К. Мушкало, Д. И. Шейко, Укр. ХЖ, 1964, 30, 384; Л. К. Мушкало, Д. И. Шейко, Е. И. Лановая, Укр. ХЖ, 1964, 30, 502.
 [493] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Авт. свид. СССР 165729 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
 [494] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ЖВХО им. Менделеева, 1960, 5, 707.
 [495] П. И. Абраменко, В. Г. Жиряков, Г. Ф. Куренина, Авт. свид. СССР 165730 (Бюлл. изобр., 1964, № 2); П. И. Абраменко, В. Г. Жиряков, Авт. свид. СССР 165730 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
 [496] П. И. Абраменко, В. Г. Жиряков, ХГС, 1965, 227.
 [497] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ХГС, 1966, 139.
 [498] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ХГС, 1967, 166; П. И. Абраменко, ХГС, 1967, 368.
 [499] П. И. Абраменко, В. Г. Жиряков, Авт. свид. СССР 165731 (Бюлл. изобр., 1964, № 20); В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, Авт. свид. СССР 165731 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
 [500] В. Г. Жиряков, П. И. Абраменко, ХГС, 1965, 334.
 [501] З. И. Мирошниченко, М. А. Альперович, Тез. докл. на VI укр. республик. конф. по орг. хим., Киев, 1959, стр. 65.
 [502] З. И. Мирошниченко, М. А. Альперович, Авт. свид. СССР 124447 (Бюлл. изобр., 1959, № 23).
 [503] З. И. Мирошниченко, М. А. Альперович, ЖОХ, 1962, 32, 612, 1245.
 [504] Г. И. Шумелик, М. А. Альперович, ЖОХ, 1964, 34, 251.
 [505] Л. Т. Боголюбская, М. А. Альперович, ЖОХ, 1964, 34, 3119.
 [506] З. И. Мирошниченко, М. А. Альперович, ХГС, 1965, 254.
 [507] Г. И. Шумелик, М. А. Альперович, Авт. свид. СССР 178325 (Бюлл. изобр., 1966, № 5).
 [508] Г. Т. Пилюгги, Изв. АН СССР, ОХН, 1952, 353.
 [509] Г. Т. Пилюгги, З. Я. Крайнер, ЖОХ, 1955, 25, 2271.
 [510] Г. Т. Пилюгги, Е. М. Гудуляк, Авт. свид. СССР 103319 (Бюлл. изобр., 1956, № 5).
 [511] Г. Т. Пилюгги, Е. М. Гудуляк, Ежегодн. Черновик. гос. ун-та, 1956, 224.
 [512] Г. Т. Пилюгги, Е. П. Опанасенко, ЖОХ, 1957, 27, 1015.
 [513] И. Н. Черник, Г. Т. Пилюгги, А. В. Злочевская, ХГС, 1968, 319.
 [514] Е. И. Ардашев, Е. А. Тертов, ЖОХ, 1959, 29, 3350.
 [515] С. М. Макин, В. М. Лихошерстов, Авт. свид. СССР 161721 (Бюлл. изобр., 1964, № 8).
 [516] С. М. Макин, В. М. Лихошерстов, Авт. свид. СССР 168280 (Бюлл. изобр., 1965, № 4).
 [517] С. М. Макин, В. М. Лихошерстов, М. И. Шелемина, ЖОХ, 1964, 34, 1809.
 [518] С. М. Макин, В. М. Лихошерстов, Ж. орг. Х, 1965, 1, 640; С. М. Макин, В. М. Лихошерстов, М. И. Бережная, Ж. орг. Х, 1967, 3, 1419.
 [519] Н. Н. Свешников, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 107264 (Бюлл. изобр., 1957, № 6).
 [520] Н. Н. Свешников, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 176922 (Бюлл. изобр., 1965, № 24).
 [521] Н. Н. Свешников, А. Ф. Вомпе, Авт. свид. СССР 111045 (Бюлл. изобр., 1958, № 1); Н. Н. Свешников, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 188503 (Бюлл. изобр., 1966, № 22).
 [522] Н. Н. Свешников, Н. С. Стоковская, Авт. свид. СССР 179328 (Бюлл. изобр., 1966, № 5).

- [523] А. И. Толмачев, Ю. Л. Сломинский, Авт. свид. СССР 200425 (Бюлл. изобр., 1967, № 16).
 [524] А. И. Толмачев, Ю. Л. Сломинский, А. И. Киричанов, ДАН СССР, 1967, 177, 869.
 [525] И. Л. Киуниц, А. К. Шиллегодский, ЖОХ, 1948, 18, 184.
 [526] Н. Е. Григорьева, Л. А. Родионова, Л. И. Щербакова, Д. П. Тюпа, ЖОХ, 1962, 32, 493.
 [527] С. М. Макин, В. М. Лихошерстов, Ж. орг. Х, 1965, 1, 832.
 [528] С. М. Макин, О. А. Шаврыгина, М. И. Бережная, В. М. Лихошерстов, Ж. орг. Х, 1966, 2, 1349.
 [529] С. М. Макин, С. А. Хейфец, Н. В. Монич, В. М. Лихошерстов, Авт. свид. СССР 175966 (Бюлл. изобр., 1965, № 21).
 [530] С. М. Макин, Н. В. Монич, С. А. Хейфец, В. М. Лихошерстов, Ж. орг. Х, 1970, 6, 107.
 [531] Г. И. Михайлов, Ж. хим. фарм. пром., 1933, 344; Авт. свид. СССР 56208 (Бюлл. изобр., 1939, № 12); Тр. ИРЕА, 1941, 18, 49.
 [532] П. Н. Рабинович, В. К. Дзиркал, Ж. хим. фарм. пром., 1933, 190, 273.
 [533] Г. И. Михайлов, Н. М. Косникова, Авт. свид. СССР 78375 (Бюлл. изобр., 1950, № 1); Г. И. Михайлов, Тр. ИРЕА, 1941, 18, 49.
 [534] П. И. Михайлов, Авт. свид. СССР 39104 (Вести. ком. изобр., 1934, № 10—11).
 [535] Г. И. Михайлов, П. Н. Рабинович, Авт. свид. СССР 39770 (Вести. ком. изобр., 1934, № 10—11).
 [536] Г. И. Михайлов, ЖОХ, 1936, 6, 511; Тр. ИРЕА, 1941, 18, 33.
 [537] О. А. Зейде, П. Н. Рабинович, Авт. свид. СССР 39769 (Вести. ком. изобр., 1934, № 10—11).
 [538] Г. И. Михайлов, Авт. свид. СССР 51629 и 53690 (Бюлл. изобр., 1937, № 8, и 1938, № 8).
 [539] П. Н. Рабинович, Авт. свид. СССР 61617 (Бюлл. изобр., 1942, № 7—8).
 [540] Г. И. Михайлов, в сб.: Хим. и технол. и пр-м. произв. пиридина и хинол. Изд. АН ЛССР, Рига, 1960, стр. 145.
 [541] С. В. Натансон, настоящий сборник, стр. 78.
 [542] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, З. П. Сытник, И. И. Левкоев, К. И. Покровская, М. В. Дейчмейстер, Г. Ф. Куренина, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 104783 (Бюлл. изобр., 1970, № 3).
 [543] Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 421.
 [544] С. В. Натансон, Э. Ф. Климзо, М. В. Крылова, Е. А. Семенова, Авт. свид. СССР 189305 (Бюлл. изобр., 1966, № 23).
 [545] С. В. Натансон, К. И. Покровская, Э. Б. Лифшиц, Н. Н. Свешников, З. П. Сытник, Т. Г. Гневничева, М. В. Крылова, А. Ф. Вомпе, Авт. свид. СССР 104282 (Бюлл. изобр., 1965, № 3).
 [546] С. В. Натансон, Н. В. Силецкая, С. И. Рыскина, А. И. Киричанов, И. К. Ушенко, Г. А. Шулейко, Л. П. Полозова, Авт. свид. 181990 (Бюлл. изобр., 1966, № 10).
 [547] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, К. И. Покровская, З. П. Сытник, Т. Д. Рыбникова, Авт. свид. СССР 110135 (Бюлл. изобр., 1958, № 3).
 [548] С. В. Натансон, М. М. Костина, Авт. свид. СССР 122023 (Бюлл. изобр., 1959, № 16).
 [549] М. В. Мишакова, А. В. Борин, С. В. Натансон, Л. Р. Шаймарданова, Я. А. Левин, Н. А. Швинк, Т. М. Мошкина, Авт. свид. СССР 181495 (Бюлл. изобр., 1966, № 9); А. В. Борин, М. В. Мишакова, Л. Р. Шаймарданова, Я. А. Левин, Н. А. Швинк, Авт. свид. СССР 184613 (Бюлл. изобр., 1966, № 15).
 [550] А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, И. И. Левкоев, Н. Н. Свешников, А. В. Борин, Н. С. Вульфсон, А. В. Казымов, Л. К. Донча, Г. Е. Василенко, Л. В. Иванова, Н. В. Монич, С. И. Рыскина, Н. В. Силецкая, Авт. свид. СССР 154474 (Бюлл. изобр., 1963, № 21).
 [551] А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, А. В. Борин, Н. С. Вульфсон, А. Г. Вакар, Авт. свид. СССР 163071 (Бюлл. изобр., 1964, № 11); А. Ф. Вомпе, Г. Ф. Куренина, И. В. Александров, А. С. Хейрман, Н. М. Парфенова, Г. Е. Василенко, А. Г. Вакар, Г. С. Волкова, Г. А. Григоренко, Л. В. Иванова, И. П. Борисов, Авт. свид. СССР 164526 (Бюлл. изобр., 1964, № 15).

- [552] А. Ф. Вомне, Г. Ф. Куренина, И. И. Левкоев, И. В. Александров, А. С. Хейнман, А. К. Донча, Р. В. Караульщикова, Г. Е. Василенко, В. В. Дурмашкина, И. П. Борисов, Авт. свид. СССР 168596 (Бюлл. изобр., 1965, № 4).
- [553] С. В. Натансон, Э. Ф. Клима, Е. А. Семенова, М. В. Крылова, И. В. Александров, Г. Е. Самойлова, Авт. свид. СССР 177278 и 184617 (Бюлл. изобр., 1965, № 24; 1966, № 15).
- [554] А. В. Казимов, Э. Б. Сумская, И. Л. Босарова, Л. Н. Мельникова, И. В. Александров, Г. Е. Самойлова, Авт. свид. СССР 203479 (Бюлл. изобр., 1967, № 20).
- [555] М. А. Ахмедзянов, В. А. Кухтин, В. И. Слесарева, А. В. Борин, М. С. Хайкин, К. М. Кирилова, Авт. свид. СССР 142524 (Бюлл. изобр., 1961, № 21); М. А. Ахмедзянов, С. А. Лернер, А. С. Фахрутдинов, С. Г. Козлова, Авт. свид. СССР 195872 (Бюлл. изобр., 1967, № 10).
- [556] М. А. Ахмедзянов, В. И. Слесарева, М. С. Хайкин, С. А. Лернер, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 474; М. А. Ахмедзянов, С. А. Лернер, И. П. Сотникова, А. С. Фахрутдинов, С. Г. Фатайинц, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 148.
- [557] Л. Г. Гросс, Н. Н. Габитова, М. А. Ахмедзянов, Ав. свид. СССР 193295 (Бюлл. изобр., 1967, № 6).
- [558] Л. Г. Гросс, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 250.
- [559] А. Н. Пудовик, Т. М. Мошкина, ЖОХ, 1961, 31, 4029.
- [560] Т. М. Мошкина, А. Н. Пудовик, ЖОХ, 1962, 32, 1671.
- [561] Т. М. Мошкина, А. Н. Пудовик, Выс.-мол. соед., 1963, 5, 1106.
- [562] А. М. Чураева, А. И. Рыбникова, С. М. Леви, О. К. Смирнов, Авт. свид. СССР 163890 (Бюлл. изобр., 1964, № 13).
- [563] А. М. Чураева, А. И. Рыбникова, С. М. Леви, О. К. Смирнов, Авт. свид. СССР 164525, 164527 и 169394 (Бюлл. изобр., 1964, № 15; 1965, № 6).
- [564] А. В. Борин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 458; Тр. НИКФИ, 1960, 37, 117.
- [565] А. М. Чураева, А. И. Рыбникова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 139; Тр. НИКФИ, 1962, 51, 10.
- [566] А. В. Борин, Т. М. Мошкина, М. В. Мишакова, Л. Р. Шаймарданова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 211.
- [567] Н. В. Макаров, А. М. Чураева, С. М. Леви, О. К. Смирнов, А. И. Рыбникова, А. В. Борин, Т. М. Мошкина, Усп. научн. фотогр. 1966, XI, 85; Н. В. Макаров, О. К. Смирнов, С. М. Леви, А. В. Борин, А. Ю. Дебердеев, А. М. Чураева, С. А. Ивлева, Авт. свид. СССР 142871 (Бюлл. изобр., 1966, № 14).
- [568] В. И. Шеберстов, Т. Г. Овечкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 362.
- [569] А. М. Чураева, С. М. Рычкова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 216.
- [570] А. М. Чураева, В. И. Шеберстов, Н. В. Макаров, Т. Г. Овечкина, Усп. научн. фотогр., 1968, XIII, 158.
- [571] А. М. Чураева, В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 212; А. М. Чураева, В. И. Шеберстов, О. В. Попова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 122.
- [572] В. И. Шеберстов, Т. Г. Овечкина, А. М. Чураева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 207.
- [573] В. И. Шеберстов, А. А. Михайлова, Т. Г. Овечкина, Т. К. Учуваткова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 443.
- [574] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, Г. Г. Мартыш, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 300.
- [575] В. И. Шеберстов, С. А. Боровкова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 315.
- [576] А. И. Вейцман, К. В. Вендровский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 464.
- [577] В. И. Шеберстов, Т. Г. Овечкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 47.
- [578] В. М. Гороховский, А. М. Галимова, Т. М. Мошкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 139.
- [579] К. С. Богомолов, И. А. Рудицкая, А. А. Сиротинская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 52.
- [580] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, И. В. Рыжкова, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 53.
- [581] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 139; А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, И. В. Рыжкова, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 281.
- [582] И. И. Брейдо, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 224.
- [583] И. И. Брейдо, А. А. Маркелова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 135.
- [584] Д. М. Самойлович, И. М. Белогородский, Е. С. Барнинова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 284.
- [585] Д. М. Самойлович, И. В. Ардашев, Е. С. Барнинова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 91.
- [586] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 306.
- [587] А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 228.
- [588] А. Л. Картужанский, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 261.
- [589] К. С. Богомолов, Р. А. Герштейн, И. И. Левкоев, М. Ю. Дебердеев, А. А. Сиротинская, К. М. Романовская, В. М. Уварова, в сб.: Совещ. по эмульс. методикам, ОИЯИ, Дубна, 1963 г., Изд. ОИЯИ, 1964, стр. 6.
- [590] К. В. Чибисов, А. В. Победническая, С. А. Пулина, Фотокинохимпром., 1933, 1, № 4, 3; Тр. НИКФИ, 1935, 3, 108.
- [591] В. Я. Михайлов, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 3, 18; Кинофотопром., 1935, 3, № 3, 40.
- [592] М. И. Шор, А. В. Борин, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 1—2, 78.
- [593] В. С. Былинин, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 6, 35.
- [594] П. В. Козлов, Технология фотокиноленики, т. 2. Изд. «Искусство», М., 1937.
- [595] Ю. Н. Гороховский, В. И. Федотова, Кинофотохимпром., 1938, № 1, 41; № 2, 31.
- [596] А. В. Борин, Кинофотохимпром., 1940, № 1, 25.
- [597] В. И. Шеберстов, ДАН СССР, 1950, 73, 1231.
- [598] С. М. Соловьев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 260.
- [599] С. М. Соловьев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 19.
- [600] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 100, 241; 1960, 5, 10.
- [601] С. М. Соловьев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 321; 1960, 5, 408.
- [602] М. И. Шор, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 62; В. И. Шеберстов, там же, 1960, 5, 63.
- [603] К. В. Вендровский, В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 295.
- [604] А. С. Хейнман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 297; 1961, 6, 142.
- [605] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 341.
- [606] А. С. Хейнман, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 376; 1966, 11, 219.
- [607] А. С. Хейнман, В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 145.
- [608] С. М. Соловьев, ЖПХ, 1947, 20, 439.
- [609] В. А. Павлова, Тез. докл. на IX совещ. по научн. фотогр. АН СССР, Казань, 1956, стр. 74; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 101.
- [610] Г. П. Фаерман, Тез. докл. на IX совещ. по научн. фотогр. АН СССР, Казань, 1956, стр. 70.
- [611] Г. П. Фаерман, А. Б. Симкина, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 81.
- [612] Г. П. Фаерман, А. П. Плетнев, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 114.
- [613] Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 235.
- [614] В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 25.
- [615] В. И. Шеберстов, М. С. Бородкина, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 331.
- [616] Ю. Ш. Мошковский, М. В. Дейчмейстер, Тр. НИКФИ, 1960, 35, 820.
- [617] Я. А. Левин, Н. А. Негорошкова, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1961, 31, 495.
- [618] Я. А. Левин, А. П. Мохова, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1961, 31, 1573.
- [619] Я. А. Левин, А. П. Федотова, Н. Ф. Ракова, Г. А. Савичева, А. В. Кухтин, ЖОХ, 1963, 33, 2673.
- [620] Я. А. Левин, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1963, 33, 2678.

- [621] Я. А. Левин, Э. М. Сергеева, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1964, 34, 205.
- [622] Я. А. Левин, А. П. Федотова, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1964, 34, 499.
- [623] Я. А. Левин, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1964, 34, 502.
- [624] Я. А. Левин, Р. Н. Платонова, В. А. Кухтин, Изв. АН СССР, ОХН, 1964, 1475.
- [625] Я. А. Левин, Н. А. Швинк, В. А. Кухтин, Изв. АН СССР, ОХН, 1964, 1481.
- [626] Я. А. Левин, В. М. Гороховский, В. А. Кухтин, И. П. Киселева, Р. Н. Платонова, Н. Г. Буланова, Авт. свид. СССР 160430 (Бюлл. изобр., 1964, № 3).
- [627] Я. А. Левин, В. М. Гороховский, И. П. Киселева, Р. Н. Платонова, Н. Г. Буланова, Авт. свид. СССР 165642 (Бюлл. изобр., 1964, № 19).
- [628] Я. А. Левин, В. А. Кухтин, В. М. Гороховский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 388.
- [629] В. М. Гороховский, В. А. Кухтин, Я. А. Левин, А. В. Борин, И. П. Киселева, Т. П. Варзаносова, Тр. НИКФИ, 1962, 46, 26.
- [630] М. В. Мишакова, А. В. Борин, Л. Р. Шаймарданова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 245.
- [631] В. А. Павлова, Г. П. Фаерман, Тр. ЛИКИ, 1955, 3, 175.
- [632] Я. А. Левин, В. М. Гороховский, Авт. свид. СССР 136948 (Бюлл. изобр., 1961, № 6).
- [633] В. М. Гороховский, Я. М. Левин, И. П. Киселева, А. М. Галимова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 205.
- [634] Г. П. Фаерман, М. И. Файнштейн, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 436.
- [635] Г. П. Фаерман, М. И. Файнштейн, Тр. ЛИКИ, 1967, 12, 21.
- [636] В. А. Павлова, Г. П. Фаерман, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 95.
- [637] Н. И. Волынкин, Тр. ЛИКИ, 1956, 4, 150.
- [638] Г. П. Фаерман, В. С. Козев, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 107.
- [639] В. В. Митрофанова, В. А. Павлова, М. И. Файнштейн, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 273.
- [640] В. А. Павлова, Л. К. Гусева, Тр. ЛИКИ, 1967, 12, 15.
- [641] Г. П. Фаерман, А. Б. Симкина, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 75.
- [642] Я. А. Левин, В. М. Гороховский, И. П. Киселева, Н. А. Лямина, Н. Г. Буданова, Авт. свид. СССР 173603 (Бюлл. изобр., 1965, № 15).
- [643] В. М. Гороховский, А. М. Галимова, в сб.: Матер. II совещ. по полирограф., Казань, 1962, стр. 35.
- [644] В. А. Павлова, Г. Ф. Евлашев, Цзоу Цзи, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 71.
- [645] В. А. Павлова, М. И. Файнштейн, Г. П. Фаерман, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 79.
- [646] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, А. М. Галимова, Тр. Совещ. по прим. физ.-хим. метод. анал. в хим. пром., Харьков, 1966, стр. 77.
- [647] В. М. Гороховский, Я. А. Левин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 585.
- [648] В. Я. Починок, С. Д. Зайцева, Р. Г. Эльгарт, Укр. ХИЖ, 1951, 17, 509.
- [649] В. Я. Починок. Автореф. докт. дисс. КГУ, Киев, 1960.
- [650] В. Я. Починок, Б. М. Иванов, Л. Ф. Авраменко, Ю. Б. Виленский, Авт. свид. СССР 123842 (Бюлл. изобр., 1959, № 21).
- [651] Л. Ф. Авраменко, Ю. Б. Виленский, Л. К. Гусева, Б. М. Иванов, В. Я. Починок, З. И. Стекланникова, Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 294.
- [652] Л. Ф. Авраменко, Ю. Б. Виленский, Б. М. Иванов, В. Я. Починок, Ю. С. Розум, Тез. докл. на VII укр. респ. конф. по орг. хим., Харьков, 1961, стр. 81.
- [653] Б. М. Иванов, А. М. Шемет, Ю. Б. Виленский, Тр. НИКФИ, 1961, 43, 31.
- [654] Б. М. Иванов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 64.
- [655] Б. М. Иванов, Ю. Б. Виленский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 253.
- [656] Л. Ф. Авраменко, Ю. Б. Виленский, Б. М. Иванов, С. Д. Зайцева, В. Я. Починок, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 419.
- [657] Л. К. Гусева, Г. П. Фаерман, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 51.
- [658] Б. М. Иванов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 343.
- [659] Б. М. Иванов, Л. Ф. Авраменко, Г. И. Матюшечева, А. М. Шемет, Ю. Б. Виленский, В. Я. Починок, Тр. НИКФИ, 1961, 43, 40.
- [660] В. Я. Починок, Тез. докл. на IV укр. респ. конф. по орг. хим., Киев, 1955, стр. 23.
- [661] Б. И. Иванов, Ю. Б. Виленский, В. Я. Починок, В. А. Ковтун, Л. Ф. Авраменко, Р. М. Тимофеева, Авт. свид. СССР 156843 (Бюлл. изобр., 1963, № 16).
- [662] Ю. Б. Виленский, Б. М. Иванов, В. А. Ковтун, В. Я. Починок, Р. В. Тимофеева, Л. Н. Федорова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 34.
- [663] Ю. Б. Виленский, С. Д. Зайцева, Б. М. Иванов, В. А. Ковтун, Л. И. Матусевич, В. Я. Починок, И. А. Рогачева, Р. В. Тимофеева, Л. Н. Федорова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 121.
- [664] Л. Ф. Авраменко, Ю. Б. Виленский, Г. К. Гоголинская, С. Д. Зайцева, Б. М. Иванов, В. А. Ковтун, Л. П. Кошечкина, В. Я. Починок, Р. В. Тимофеева, Л. Н. Федорова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 3.
- [665] Б. М. Иванов, В. Я. Починок, Л. Н. Федорова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 81.
- [666] М. А. Ахмедзянов, В. И. Слесарева, А. В. Борин, М. С. Хайкин, В. А. Кухтин, Авт. свид. СССР 133340 (Бюлл. изобр., 1960, № 21).
- [667] М. А. Ахмедзянов, В. И. Слесарева, М. С. Хайкин, В. А. Кухтин, А. В. Борин, Тр. НИКФИ, 1962, 46, 31.
- [668] И. И. Левкоев, К. И. Покровская, З. И. Шмакова, Н. М. Парфенова, Ф. Ю. Рачинский, Ю. А. Брук, Авт. свид. СССР 217942 (Бюлл. изобр., 1968, № 16).
- [669] С. М. Левин, О. К. Смирнов, К. О. Авербах, В. Л. Абритади, И. И. Петкин, Г. Т. Баранов, Р. В. Обложенко, Авт. свид. СССР 128286 (Бюлл. изобр., 1960, № 9).
- [670] Г. П. Фаерман, К. А. Августинович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 176.
- [671] Г. П. Фаерман, Л. К. Гусева, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 35.
- [672] С. М. Антонов, В. Л. Зеликман, К. И. Мархилевич. Кинопленка и ее обработка. Госкиноиздат, М., 1950.
- [673] С. М. Левин, О. К. Смирнов, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 102.
- [674] В. Л. Зеликман, С. М. Левин, Ю. Ш. Мошковский, Хим. наука и пром., 1958, 3, 567; С. М. Левин, О. К. Смирнов, там же, 1959, 4, 629.
- [675] С. М. Левин, О. К. Смирнов, Тр. НИКФИ, 1962, 51, 20.
- [676] О. К. Смирнов, Р. Б. Жури, ЖВХО им. Менделеева, 1966, 11, 392.
- [677] Б. М. Дерягин, С. М. Левин. Физико-химия нанесения тонких слоев на движущуюся подложку. Изд. АН СССР, М., 1959; Film coating Theory, Focal Press, London—N. Y., 1964.
- [678] В. Л. Зеликман, С. М. Левин. Основы синтеза и полива фотографических эмульсий. Изд. «Искусство», М., 1960; Making and Coating photographic Emulsions, Focal Press, London—N. Y., 1964.
- [679] Ю. Н. Гороховский, ЖПХ, 1932, 5, 770; сб. «Некоторые свойства фото-желатин», Изд. КУВУЧ, 4, 1930; Фотокинохимпром., 1934, 2, № 1, 69.
- [680] К. Н. Кузьминский, Б. Н. Коростылев, Фотохимпром., 1935, 3, № 5, 27.
- [681] П. В. Козлов, Технология фотокинопленки. Изд. «Искусство», М., 1957, стр. 268, 365.
- [682] Б. В. Дерягин, С. М. Левин, ЖТФ, 1955, 25, 1914; Изв. АН СССР, ОТН, 1955, № 9, 43.
- [683] Б. В. Дерягин, С. М. Левин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 354.
- [684] С. М. Левин, Б. В. Дерягин, Тез. докл. на IV Всес. конф. по колл. хим. АН СССР, М., 1958, стр. 32.
- [685] С. М. Левин, О. К. Смирнов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 34.
- [686] С. М. Левин, В. И. Акулов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 124.
- [687] С. М. Левин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 401.
- [688] Б. В. Дерягин, С. М. Левин, Авт. свид. СССР 100824 (Бюлл. изобр., 1955, № 6).
- [689] В. Г. Гиммельсон, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 420.

[690] О. К. Смирнов, С. М. Левин, А. И. Рыбачикова, С. Н. Кочнева. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 34.
 [691] О. К. Смирнов, Р. В. Обломов, С. М. Левин. Авт. свид. СССР 130040 (Бюлл. изобр., 1960, № 14).
 [692] О. К. Смирнов, А. И. Рыбачикова, С. М. Левин. Об. Органич. синтез. проц. и прикл., 1961, 2, 168.
 [693] О. К. Смирнов, С. М. Левин, С. П. Демкина, С. Н. Кочнева. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 165.
 [694] О. К. Смирнов, В. Б. Вайнер. Промышленные адвентивные методы на основе продуктов нефтехимического синтеза. Изд. Цинкштейнтехим, М., 1967.
 [695] А. Д. Кочнева, С. Н. Кочнева, С. М. Левин, С. В. Руденко, О. К. Смирнов. Тез. докл. на VI Всесоюз. конф. по колл. хим., Воронеж, 1968, стр. 146.
 [696] О. К. Степанов, Р. И. Граевская. Авт. свид. СССР 37969 (Бюлл. изобр., 1954, № 5).
 [697] С. М. Левин, О. К. Смирнов. Усп. научн. фотогр., 1957, V, 182; Колл. ж., 1959, 21, 84.
 [698] С. М. Левин. Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 170.
 [699] О. К. Степанов, Р. И. Граевская. Авт. свид. СССР 30539 (Бюлл. изобр., 1950, № 2).
 [700] О. К. Степанов, О. К. Смирнов. Авт. свид. СССР 34713 (Бюлл. изобр., 1950, № 4).
 [701] О. К. Степанов, О. К. Смирнов. Авт. свид. СССР 34321 (Бюлл. изобр., 1952, № 10).
 [702] О. К. Смирнов, С. М. Левин. Авт. свид. СССР 102550 (Бюлл. изобр., 1956, № 2); авт. ГПР 5653.
 [703] О. К. Смирнов, А. И. Рыбачикова, С. М. Левин, С. Н. Кочнева. Авт. свид. СССР 105337 (Бюлл. изобр., 1957, № 2).
 [704] О. К. Смирнов, С. М. Левин, А. И. Рыбачикова. Авт. свид. СССР 105345 (Бюлл. изобр., 1957, № 2).
 [705] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Э. И. Мухоморова. Авт. свид. СССР 112917 (Бюлл. изобр., 1958, № 5).
 [706] О. К. Смирнов, А. И. Рыбачикова. Нефтехим., 2, 1962, 342.
 [707] О. К. Смирнов, В. Б. Вайнер, С. П. Демкина, С. М. Левин. Тр. III Всес. совещ. по синтез. жирозаминт., пов.-акт. вещ. и моощ. средствам. Чебоксары, 1965, стр. 222.
 [708] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Н. О. Амурбаба. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 6, 222.
 [709] С. М. Левин, О. К. Смирнов, А. Ф. Николаевская, С. Н. Кочнева. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 87.
 [710] С. В. Руденко, С. М. Левин, О. К. Смирнов, А. И. Рыбачикова, А. Д. Кочнева. Тр. III Всес. совещ. по синтез. жирозаминт., пов.-акт. вещ. и моощ. средствам. Чебоксары, 1965, стр. 191.
 [711] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Н. О. Амурбаба, С. Н. Кочнева. Авт. свид. СССР 138813 (Бюлл. изобр., 1961, № 11).
 [712] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Н. О. Амурбаба, С. Н. Кочнева. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 222.
 [713] С. М. Левин, О. К. Смирнов. Изв. ж., 1964, 26, 339.
 [714] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Н. И. Гривцова. Авт. свид. СССР 101802 (Бюлл. изобр., 1956, № 3).
 [715] О. К. Смирнов. Авт. свид. СССР 104099 (Бюлл. изобр., 1960, № 12); ИИЗ, 1965, 28, 1099.
 [716] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Н. И. Гривцова, Т. Н. Степанова. Авт. свид. СССР 107099 (Бюлл. изобр., 1957, № 6).
 [717] О. К. Смирнов, С. М. Левин, А. И. Рыбачикова. Авт. свид. СССР 108429 (Бюлл. изобр., 1957, № 8) и др.
 [718] А. И. Рыбачикова, Т. Н. Степанова, Н. И. Кочневская. ИИЗ, 1960, 23, 222.
 [719] О. К. Смирнов, Н. И. Гривцова. Нефтехим., 1962, 2, 227.
 [720] О. К. Смирнов, С. М. Левин, С. Н. Кочнева. Авт. свид. СССР 104227 (Бюлл. изобр., 1956, № 3).
 [721] О. К. Смирнов, С. М. Левин, А. И. Рыбачикова, С. Н. Кочнева. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 6, 222.
 [722] Т. Н. Степанова, Н. И. Кочневская, А. И. Рыбачикова, С. М. Левин. Тр. НИИФХИ, 1960, 27, 27.
 [723] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Н. И. Гривцова, А. И. Рыбачикова. Авт. свид. СССР 109667 (Бюлл. изобр., 1957, № 10); О. К. Смирнов, Н. И. Гривцова, С. М. Левин, Э. С. Кутала. Авт. свид. СССР 102227 (Бюлл. изобр., 1956, № 2).

[724] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Я. З. Зайденберг, С. Н. Кочнева. Авт. свид. СССР 110043 (Бюлл. изобр., 1958, № 1).
 [725] С. М. Левин, О. К. Смирнов. Колл. ж., 1958, 20, 179.
 [726] О. К. Смирнов, С. М. Левин. Тез. докл. на IV Всес. конф. по колл. хим., АН СССР, М., 1958, стр. 117; Тез. докл. на V Всес. конф. по колл. хим., М., 1962, стр. 272.
 [727] С. М. Левин, О. К. Смирнов. Колл. ж., 1959, 21, 315; Тр. НИИФХИ, 1960, 35, 41.
 [728] С. М. Левин, О. К. Смирнов. Тр. Конф. по теории и технол. фотогр. проц., Закопане, 1968, № 29.
 [729] С. М. Левин. Тр. Конф. по теории и технол. фотогр. проц., Закопане, 1968, № 32.
 [730] Б. В. Дерягин, С. М. Левин, В. С. Кольцов. ДАН СССР, 1951, 79, 283.
 [731] С. М. Левин. Колл. ж., 1957, 19, 78.
 [732] В. К. Акимов, И. А. Вайнер, О. С. Ждамаров, О. К. Смирнов. Тр. III Всес. совещ. по синтез. жирозаминт., пов.-акт. вещ. и моощ. средствам, Шебекино, 1965, стр. 348.
 [733] В. К. Акимов, А. И. Бусев, О. С. Ждамаров, О. К. Смирнов. ЖАХ, 1966, 21, 1248.
 [734] В. К. Акимов, И. А. Емельникова, О. К. Смирнов. ЖАХ, 1966, 21, 610.
 [735] Р. И. Граевская, О. К. Смирнов. Завод. лаб., 1948, 14, 1430.
 [736] О. К. Смирнов, В. М. Беженцева. Завод. лаб., 1955, 21, 414.
 [737] В. К. Акимов, А. И. Бусев, С. И. Брагина, О. К. Смирнов. ЖАХ, 1966, 21, 976.
 [738] Ю. Б. Виленский, Д. А. Душейко, С. М. Левин, В. М. Уварова. Тр. Конф. по теор. и технол. фотогр. проц., Закопане, 1968, № 22.
 [739] С. М. Левин, В. Л. Зеликман, О. К. Смирнов, О. В. Попова, Т. К. Степанова, Е. Б. Кодратьева, В. А. Дмитриева. Авт. свид. СССР 138814 (Бюлл. изобр., 1961, № 11).
 [740] С. М. Левин, Л. М. Богданов, Д. И. Картышева. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 241.
 [741] С. М. Левин, В. В. Кулина, О. К. Смирнов, Р. В. Маркина. Авт. свид. СССР 167747 (Бюлл. изобр., 1965, № 2).
 [742] Ю. Б. Виленский, Н. А. Петрова, В. Н. Долбин. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 412.
 [743] Д. А. Душейко, Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 14, 262.
 [744] Ю. Б. Виленский, Е. В. Блажко, Д. А. Душейко, А. М. Наумова. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 302.
 [745] Д. А. Душейко, Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 411; 1965, 10, 81.
 [746] Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 169.
 [747] Э. Д. Корнева, О. К. Смирнов, В. М. Уварова. ЖПХ, 1966, 38, 1876.
 [748] Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский, Н. Я. Сокач, С. Г. Дерзская, В. Я. Починок, И. П. Федорова. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 86.
 [749] Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский, В. Я. Починок, И. П. Федорова. Вис.-мол. соед., 1968, 10Б, 327.
 [750] Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 256.
 [751] Ю. Б. Виленский, Д. А. Душейко, С. М. Левин, З. К. Авербух, М. И. Мумжиев. Авт. свид. СССР 156841 (Бюлл. изобр., 1963, № 16).
 [752] Ю. Б. Виленский, Д. А. Душейко. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 460.
 [753] С. М. Хазан, Р. В. Маркина, П. К. Спиридонова, Л. М. Богданов, О. К. Смирнов, С. М. Левин, В. В. Кулина. Авт. свид. СССР 148720 (Бюлл. изобр., 1962, № 13).
 [754] Г. Н. Лапши. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 128.
 [755] Г. Н. Лапши. Вис.-мол. соед., 1962, 4, 469; 1964, 6, 179.
 [756] В. Н. Бубновская, Ю. Б. Виленский, В. А. Гладкая, Д. А. Душейко, С. Д. Лукас, Н. А. Ольшевская, В. Я. Починок, В. Г. Смирнятников, И. П. Федорова, в сб.: Синтез и физ.-хим. полимеров, 3, Изд. АН УССР, Киев, 1966, стр. 76.
 [757] В. Г. Смирнятников, И. П. Федорова, В. Я. Починок, в сб.: Синтез и физ.-хим. полимеров, 3, Изд. АН УССР, Киев, 1966, 87.
 [758] И. М. Фридман. Продление жизни кинолентки. Госкиноиздат, М., 1944.

[759] И. М. Фридман, П. В. Козлов, Тр. НИКОИ, 1944, 7, 134.
 [760] Б. В. Дерягин, С. М. Левин, Колл. ж., 1953, 15, 24; Изв. АН СССР, ОТН, 1955, 43.
 [761] В. Л. Зеликман, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 161; В. Л. Зеликман, В. В. Кондратьева, Техн. кино и телевид., 1959, 3, № 6, 47.
 [762] И. М. Фридман, С. М. Левин, Тр. НИКОИ, 1958, 26, 43.
 [763] Б. А. Заборовский, С. Е. Тихонович, С. М. Левин, Техн. кино и телевид., 1960, 4, № 11, 44.
 [764] С. М. Левин, Колл. ж., 1960, 22, 509.
 [765] С. М. Левин, Ю. Б. Виленский, Тр. НИКОИ, 1962, 54, 99.
 [766] С. М. Левин, Ю. Б. Виленский, С. Н. Кочнева, О. В. Попова, Т. Н. Веретенкова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 161.
 [767] С. М. Левин, С. Н. Кочнева, Л. П. Швадченко, Ж. научн. и прикл. фотогр., 1964, 9, 51.
 [768] С. М. Остриков, Е. П. Духина, С. М. Левин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 258.
 [769] С. М. Левин, Л. П. Швадченко, С. Н. Кочнева, Усп. научн. фотогр., 1966, XII, 62.
 [770] Л. В. Розенталь, С. М. Левин, О. М. Суткова, О. К. Смирнов, Тез. докл. на VII общ. конф. по физ. хим., Берлин, 1964, стр. 167.
 [771] В. М. Уварова, Д. А. Душайло, Г. М. Мошкина, С. М. Левин, Тр. общ. конф. физ. хим. фотогр. прил., Закопане, 1964, № 11.
 [772] Ю. Б. Виленский, Т. Н. Веретенкова, С. М. Левин, Авт. свид. СССР 159787 (Бюлл. изобр., 1964, № 9).
 [773] Ю. Б. Виленский, Т. Н. Веретенкова, С. М. Левин, Н. И. Гусарь, Д. А. Душайло, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 6, 334.
 [774] С. М. Левин, О. К. Смирнов, Н. Г. Мизур, Н. М. Касаткина, Авт. свид. СССР 166727 (Бюлл. изобр., 1957, № 4); С. М. Левин, О. К. Смирнов, В. Д. Корнева, А. Н. Рыбникова, С. Н. Кочнева, О. В. Попова, Авт. свид. СССР 129440 (Бюлл. изобр., 1960, № 12); С. М. Левин, С. Е. Тихонович, О. К. Смирнов, Н. С. Спасокукоцкий, В. Д. Корнева, Авт. свид. СССР 121812 (Бюлл. изобр., 1956, № 3).
 [775] С. М. Левин, О. К. Смирнов, Тр. НИКОИ, 1962, 54, 80.
 [776] С. М. Левин, О. К. Смирнов, А. Н. Рыбникова, В. Д. Корнева, О. В. Попова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 401.
 [777] С. М. Левин, О. К. Смирнов, Е. Б. Кондратьева, В. Л. Зеликман, Авт. свид. СССР 170182 (Бюлл. изобр., 1965, № 21).
 [778] Н. Н. Бударина, Ю. Б. Виленский, Д. А. Душайло, С. М. Левин, В. Д. Корнева, Л. П. Швадченко, О. К. Смирнов, Авт. свид. СССР 154933 (Бюлл. изобр., 1962, № 22).
 [779] В. Д. Корнева, В. В. Кузина, С. М. Левин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 12, 457.
 [780] С. А. Бонгард, Н. С. Спасокукоцкий, М. И. Винникая, Т. Е. Кривцова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 2.
 [781] С. М. Левин, О. К. Смирнов, О. В. Попова, Авт. свид. СССР 105837 (Бюлл. изобр., 1957, № 4).
 [782] С. М. Левин, М. И. Барро, Тр. НИКОИ, 1962, 54, 96.
 [783] Ю. Б. Виленский, Т. Н. Веретенкова, Н. Н. Бударина, Л. Ф. Патрикеева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 401.
 [784] В. Л. Зеликман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 405.
 [785] В. Л. Зеликман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 265.
 [786] Т. А. Калининна, В. А. Мазыцева, О. К. Смирнов, В. М. Уварова, Тр. IV междунар. конф. по физ. фотогр., Мюнхен, 1962, стр. 186.
 [787] К. Д. Толстов, В. М. Уварова, Т. А. Калининна, О. К. Смирнов, М. Ю. Дебердеев, Авт. свид. СССР 158799 (Бюлл. изобр., 1963, № 22).
 [788] С. М. Левин, В. В. Кузина, Р. В. Маркина, О. К. Смирнов, Авт. свид. СССР 172625 (Бюлл. изобр., 1965, № 13).
 [789] О. К. Смирнов, С. М. Левин, А. Н. Рыбникова, Авт. свид. СССР 108677 (Бюлл. изобр., 1960, № 13).
 [790] О. К. Смирнов, Н. В. Зайденберг, З. С. Конданова, М. П. Шульман, К. М. Просенкова, Р. В. Обложенко, Авт. свид. СССР 129939 (Бюлл. изобр., 1960, № 13).
 [791] О. К. Смирнов, С. М. Левин, Авт. свид. СССР 122022 (Бюлл. изобр., 1959, № 16).

[792] Л. А. Хисматуллина, С. М. Левин, В. А. Кухтин, Л. М. Богданов, Авт. свид. СССР, 159725 (Бюлл. изобр., 1964, № 1).
 [793] Л. А. Хисматуллина, С. М. Левин, В. А. Кухтин, Вис.-мол. соедин., 1964, 6, 473.
 [794] Л. А. Хисматуллина, С. М. Левин, Л. М. Богданов, В. А. Кухтин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 81.
 [795] Т. М. Мошкина, В. А. Андрианов, Б. Н. Коростылев, Т. Н. Жаденова, Л. Х. Гарифова, Р. И. Туркенич, Л. Н. Гиль, Р. А. Сорокина, Авт. свид. СССР 195313 (Бюлл. изобр., 1967, № 9).
 [796] Б. А. Царев, В. В. Бабкин, Л. М. Зайцева, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 3.
 [797] Б. А. Царев, В. В. Бабкин, Л. М. Зайцева, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 9, 17.
 [798] С. М. Хазан, С. М. Левин, О. К. Смирнов, Р. В. Маркина, Авт. свид. СССР 156844 (Бюлл. изобр., 1963, № 16).
 [799] В. В. Бабкин, С. С. Иванов, Тр. ЛИКИ, 1963, 9, 23.
 [800] С. М. Левин, Техн. кино и телевид., 1964, 8, № 7, 13; Усп. научн. фотогр., 1966, XI, 41.
 [801] С. А. Бонгард, В. С. Чельцов, наст. сб., стр. 000.
 [802] М. И. Крылова, Тр. ЛХТИ им. Ленсовета, 1941, 11, 47.
 [803] В. С. Чельцов, Г. И. Арбузов, К. Л. Мерц, Тр. НИКОИ, 1944, 7, 117.
 [804] А. Е. Порай-Кошиц, Б. А. Порай-Кошиц, Изв. АН СССР, ОХН, 1945, 261.
 [805] Г. И. Арбузов, ЖПХ, 1950, 23, 886.
 [806] К. С. Ляликов, В. Н. Курнаков, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 38.
 [807] А. С. Хейман, В. С. Чельцов, Тр. НИКОИ, 1959, 29, 5.
 [808] А. Н. Иорданский, Г. И. Арбузов, ЖПХ, 1951, 24, 337.
 [809] С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, В. С. Чельцов, ДАН СССР, 1952, 84, 81.
 [810] Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, ЖПХ, 1953, 26, 89; В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашениникова, С. А. Бонгард, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 48; В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, С. А. Бонгард, Т. Г. Ткаченко, в сб.: Ergebn. intern. Konf. wiss. Phot., Köln, 1958, 485; Тр. НИКОИ, 1957, 20, 118.
 [811] В. С. Чельцов, Г. И. Арбузов, А. Н. Иорданский, Усп. хим., 1945, 14, 349.
 [812] Ф. Н. Степанов, Н. С. Вульфсон, Ж. хим. пром., 1950, № 11, 12.
 [813] Г. И. Арбузов, И. А. Соловьева, Тез. докл. на V совещ. по научн. фотогр. АН СССР, М., 1950, стр. 28; Усп. научн. фотогр., 1954, II, 28.
 [814] И. И. Левкоев, В. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. С. Спасокукоцкий, Н. Ф. Турецкая, в сб.: Ergebn. intern. Konf. wiss. Phot., Köln, 1958, 477; Тр. НИКОИ, 1957, 20, 68.
 [815] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 285; 1960, 5, 419; 1961, 6, 125; Тр. НИКОИ, 1962, 47, 11.
 [816] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 358.
 [817] Б. А. Чарторыйский, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 427; Тр. НИКОИ, 1959, 29, 16.
 [818] С. П. Шарланджиев, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 117; Тр. НИКОИ, 1959, 29, 24.
 [819] Г. П. Сенин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 144; Г. П. Сенин, Л. М. Карпова, Тез. докл. на VI совещ. по электрохим. орг. соед. АН СССР, М., 1968, стр. 46.
 [820] Н. Е. Чеботарева, Н. Н. Сазонова, В. М. Гороховский, Т. Д. Глухова, А. М. Галимова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 272.
 [821] И. А. Соловьева, М. В. Крашениникова, Г. И. Арбузов, ЖОХ, 1956, 26, 3036.
 [822] И. А. Соловьева, Т. Г. Ткаченко, А. Г. Гусева, Кинотехника, 1963, 4, 103.
 [823] И. А. Соловьева, В. Н. Долбин, В. К. Ерохин, А. Г. Гусева, Л. А. Стогова, Авт. свид. СССР 141485 (Бюлл. изобр., 1961, № 19); И. А. Соловьева, И. И. Левкоев, М. В. Крашениникова, В. С. Чельцов, А. Г. Гусева, Т. Г. Ткаченко, А. В. Крупица, Авт. свид. СССР 99807 (Бюлл. изобр., 1969, № 36); И. А. Соловьева, М. В. Крашениникова, И. Л. Левкоев, В. С. Чельцов, А. Г. Гусева, Авт. свид. СССР 100840 (Бюлл. изобр., 1969, № 35); И. А. Соловьева, М. В. Крашениникова, Т. Г. Ткаченко, Т. В. Краснова, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, И. В. Александров, Авт. свид. СССР 105746 (Бюлл. изобр., 1969, № 35).

- [824] В. Н. Долбин, В. К. Ерохин, И. А. Соловьева, ХПС, 1967, 92.
- [825] Т. П. Бобкова, И. А. Соловьева, Тр. Госниихмфотопроекта, 1966, 1, 60.
- [826] И. А. Соловьева, Г. И. Арбузов, ЖОХ, 1951, 21, 765.
- [827] Ф. Н. Степанов, Н. С. Вульфсон, Авт. свид. СССР 95060 (Бюлл. изобр., 1953, № 2).
- [828] Ф. Н. Степанов, Н. С. Вульфсон, сб. Органич. полупрод. и красит., 1959, 1, 222; Н. С. Вульфсон, там же, 1961, 2, 128.
- [829] Н. С. Вульфсон, Л. Виноград, ДАН СССР, 1956, 106, 669.
- [830] Н. С. Вульфсон, Л. И. Лукашина, С. Л. Давидова, сб. Хим. технол. и приме. проми. химии и химол., Изд. АН СССР, Рига, 1960, стр. 242; Органич. полупрод. и красит., 1959, 1, 231; Н. С. Вульфсон, Л. И. Лукашина, там же, 1961, 2, 137.
- [831] М. О. Иодко, Н. В. Александров, Я. З. Зайденберг, Х. С. Швайштейн, Авт. свид. СССР 166886 и 193924 (Бюлл. изобр., 1964, № 2; 1967, № 7).
- [832] М. О. Иодко, О. В. Мартыненко, Н. В. Александров, Я. З. Зайденберг, Х. С. Швайштейн, Авт. свид. СССР 184619 (Бюлл. изобр., 1966, № 15).
- [833] И. М. Фридман, К. Ф. Еременко, И. А. Соловьева, М. М. Адамова, Хим. пром., 1956, 253.
- [834] И. А. Соловьева, И. И. Левкоев, А. Г. Гусева, Тр. НИИОИ, 1960, 40, 96.
- [835] В. Д. Чернокальский, А. Г. Грейсберг, Я. А. Лавина, И. И. Левкоев, И. А. Соловьева, М. И. Барро, В. А. Кухтик, Тр. НИИОИ, 1960, 37, 39; В. Д. Чернокальский, А. Г. Грейсберг, А. А. Болденежная, ХПС, 1965, 412.
- [836] В. М. Гороховский, М. М. Тамарченко, Тр. НИИОИ, 1962, 46, 78.
- [837] М. С. Кистенева, ЖОХ, 1956, 26, 4169; 2019; ЖОХ, 1961, 35, 3401.
- [838] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1952, 82, 673; Н. С. Спасокукоцкий, И. И. Левкоев, Б. С. Портная, ДАН СССР, 1953, 93, 671.
- [839] Г. Д. Брызгалов, Л. И. Шварца, Н. С. Спасокукоцкий, ЖОХ, 1954, 28, 2185.
- [840] Б. С. Портная, Н. С. Спасокукоцкий, Н. Ф. Турецкая, Т. П. Бобкова, Г. И. Арбузов, И. И. Левкоев, ЖОХ, 1956, 28, 2337; Н. Ф. Турецкая, Б. С. Портная, Н. С. Спасокукоцкий, Т. П. Бобкова, Г. И. Арбузов, И. И. Левкоев, ЖОХ, 1956, 28, 2546.
- [841] Б. С. Портная, Т. П. Бобкова, М. В. Кривошеина, И. И. Левкоев, И. И. Левкоев, Тр. НИИОИ, 1960, 40, 101.
- [842] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. Е. Чардаков, И. И. Шварца, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [843] Н. Ф. Турецкая, Б. С. Портная, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, М. В. Кривошеина, Н. С. Спасокукоцкий, Т. П. Бобкова, Г. И. Арбузов, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 16746 (Бюлл. изобр., 1964, № 2); Н. Ф. Турецкая, Б. С. Портная, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, М. В. Кривошеина, Н. С. Спасокукоцкий, Т. П. Бобкова, Г. И. Арбузов, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 16747 (Бюлл. изобр., 1964, № 2).
- [844] Н. Ф. Турецкая, Б. С. Портная, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, М. В. Кривошеина, Н. С. Спасокукоцкий, Т. П. Бобкова, Г. И. Арбузов, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 16748 (Бюлл. изобр., 1964, № 2).
- [845] А. В. Кривошеина, С. С. Лавина, И. И. Левкоев, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [846] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. Е. Чардаков, И. И. Шварца, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [847] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. Е. Чардаков, И. И. Шварца, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [848] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. Е. Чардаков, И. И. Шварца, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [849] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. Е. Чардаков, И. И. Шварца, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [850] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. Е. Чардаков, И. И. Шварца, Усп. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, VIII, 35.
- [851] М. Г. Ивнев, ЖОХ, 1961, 31, 230; 1962, 32, 1958; 1964, 34, 2328.
- [852] Г. Н. Лапшин, С. И. Дикий, М. А. Альперович, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 304.
- [853] Н. С. Вульфсон, В. Е. Колчин, ЖОХ, 1959, 29, 3760; 1960, 30, 3091.
- [854] Н. С. Вульфсон, В. Е. Колчин, ЖОХ, 1960, 30, 3425.
- [855] Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турецкая, И. М. Клинический, Ю. Б. Вилениский, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенинникова, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, А. Г. Ильинская, Авт. свид. СССР 122676 (Бюлл. изобр., 1959, № 18); Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, А. Г. Гусева, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР 165971 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
- [856] Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турецкая, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, М. В. Крашенинникова, Т. П. Бобкова, Т. Г. Ткаченко, Усп. науч. фотогр., 1962, VIII, 35.
- [857] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Т. Г. Ткаченко, И. М. Клинический, Н. Ф. Зозулина, Л. Н. Бахмутова, Н. И. Родионова, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР 209969 (Бюлл. изобр., 1968, № 5).
- [858] Ю. Б. Вилениский, Чен Куан-мин, Л. Ф. Патрикеева, Е. И. Тульчинская, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 183.
- [859] Н. Ф. Турецкая, В. С. Чельцов, К. Ф. Еременко, Ю. Б. Вилениский, В. С. Ильинская, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 168995 (Бюлл. изобр., 1965, № 5).
- [860] Н. Ф. Турецкая, В. С. Ильинская, 1963, 33, 2650.
- [861] Н. Ф. Турецкая, В. С. Ильинская, И. И. Дюжева, Ж. орг. Х, 1966, 2, 536.
- [862] И. В. Александров, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 191, 432.
- [863] И. В. Александров, сб. Органич. полупрод. и красит., 1959, 1, 196, 207.
- [864] И. В. Александров, А. Н. Кагановская, сб. Органич. полупрод. и красит., 1959, 1, 214, 1961, 2, 124.
- [865] И. В. Александров, Т. В. Краснова, сб. Органич. полупрод. и красит., 1961, 2, 118.
- [866] И. В. Александров, Ю. С. Абрадушкин, ЖОХ, 1964, 34, 3723.
- [867] И. В. Александров, Ю. С. Абрадушкин, А. В. Глазунова, В. В. Уткина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 102.
- [868] И. А. Соловьева, А. Г. Гусева, Авт. свид. СССР 85031 (Бюлл. изобр., 1951, № 3).
- [869] И. А. Соловьева, Г. И. Арбузов, ЖОХ, 1953, 23, 489.
- [870] И. А. Соловьева, А. Г. Гусева, ЖОХ, 1959, 29, 2069.
- [871] Б. С. Портная, Н. Ф. Турецкая, Т. П. Бобкова, И. И. Левкоев, ЖОХ, 1960, 30, 2693.
- [872] И. А. Соловьева, А. Г. Гусева, Авт. свид. 169123 (Бюлл. изобр., 1965, № 6); ЖОХ, 1968, 4, 1973.
- [873] Н. И. Широкова, Т. В. Краснова, И. В. Александров, ЖПХ, 1960, 33, 746.
- [874] Н. Ф. Турецкая, В. С. Ильинская, ЖОХ, 1963, 33, 2656.
- [875] Т. Г. Ткаченко, В. С. Чельцов, Ю. Б. Вилениский, А. Н. Иорданский, И. В. Александров, И. И. Левкоев, И. А. Соловьева, Авт. свид. СССР 124801 (Бюлл. изобр., 1959, № 23).
- [876] И. В. Александров, М. О. Иодко, О. В. Мартыненко, Э. А. Рамзова, В. В. Чеканов, В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, А. Д. Вяткина, Авт. свид. СССР 193923 (Бюлл. изобр., 1967, № 7).
- [877] К. М. Кириллова, Н. Е. Чеботарева, А. В. Казимов, Н. Н. Кудрявцева, Н. В. Тимофеева, Авт. свид. СССР 207013 (Бюлл. изобр., 1968, № 1).
- [878] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, ЖФХ, 1954, 28, 1572; Усп. науч. фотогр., 1962, VIII, 44.
- [879] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 174.
- [880] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Кинотехника, 1963, 2, 75.
- [881] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Т. М. Лазарева, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 266.
- [882] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Т. М. Лазарева, Тр. Госниихмфотопроекта, 1968, 1, 88.
- [883] Е. В. Столярова, В. С. Чельцов, ДАН СССР, 1952, 87, 1025.
- [884] Ц. С. Арнольд, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 378.
- [885] Ц. С. Арнольд, Р. Б. Журин, В. Н. Ивина, Усп. науч. фотогр., 1968, XIII, 100.

- [886] Ю. Б. Виленский, М. А. Альперович, Г. П. Шумелак, Н. Н. Бударина, Е. И. Тульчинская, Н. И. Гринева, Авт. свид. СССР 106548 (Бюлл. изобр., 1957, № 6).
- [887] В. А. Боголюбский, Ю. Б. Виленский, М. А. Альперович, Л. В. Гречко, Авт. свид. СССР 112636 (Бюлл. изобр., 1958, № 5).
- [888] В. А. Боголюбский, Г. П. Шумелак, Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 61.
- [889] В. А. Боголюбский, Л. В. Гречко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 462.
- [890] А. П. Стрельникова, Н. И. Левкоев, Н. И. Кириллов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 6.
- [891] В. А. Боголюбский, ЖОХ, 1962, 32, 869; Ж. орг. Х, 1966, 2, 1433.
- [892] К. С. Лялков, Тез. докл. на I совещ. по научн. фотогр., Л., 1932, стр. 31.
- [893] Л. П. Крылов, Фотокинохимпром., 1933, 1, № 4, 35.
- [894] А. В. Бромберг, О. С. Мальцева, ЖПХ, 1947, 20, 422, 539, 549; А. В. Бромберг, Колл. ж., 1949, 11, 211; 1950, 12, 9.
- [895] К. В. Чмутов, Г. Н. Юшкевич, Колл. ж., 1947, 9, 309; К. В. Чмутов, А. В. Бромберг, ЖПХ, 1949, 22, 261.
- [896] И. В. Бломберг, И. М. Давыдкин, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 69; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 3, 81; 1964, 9, 31; Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 106.
- [897] К. С. Амелина, О. Ф. Коваличева, Тр. Лен. инст. точн. мех. и опт., 1957, 24, 127; 1960, 31, 176; К. С. Амелина, А. М. Коновалова, там же, 1960, 31, 181; К. С. Амелина, там же, 1960, 31, 206.
- [898] Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тихонович, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 115, 125.
- [899] Н. С. Спасокукоцкий, Г. В. Величко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 406; Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тихонович, В. Б. Вереникин, М. П. Арбузова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 432.
- [900] Г. В. Величко, Н. С. Спасокукоцкий, Н. Б. Гуревич, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 39; Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тихонович, Н. М. Гуревич, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 7.
- [901] Н. С. Спасокукоцкий, А. С. Каширни, А. Я. Львова, Техн. кино и телевид., 1966, № 11, 54.
- [902] Б. Б. Беркенгейм, З. М. Чуева, Авт. свид. СССР 124798 (Бюлл. изобр., 1959, № 23) (РЖХим, 1960, № 20).
- [903] Б. Б. Беркенгейм, Н. М. Гуревич, Авт. свид. СССР 102260 (Бюлл. изобр., 1956, № 1).
- [904] З. М. Чуева, Б. Б. Беркенгейм, М. К. Масленикова, Авт. свид. СССР 165968 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
- [905] Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, Л. И. Левкоев, Е. С. Козлова, М. И. Виницкая, В. И. Юрченкова, Авт. свид. СССР 99570 (Бюлл. изобр., 1970, № 4).
- [906] А. И. Королев, Я. М. Ябиков, Н. С. Спасокукоцкий, В. А. Блинов, В. И. Севостьянов, Б. Б. Беркенгейм, Авт. свид. СССР 118702 (Бюлл. изобр., 1959, № 6).
- [907] Г. П. Бенинг, Г. Н. Нургалева, Г. В. Дерстуганов, Н. Н. Кудрявцева, Тр. НИКФИ, 1962, 46, 36.
- [908] Г. П. Бенинг, И. Н. Нургалева, Н. Н. Кудрявцева, Авт. свид. СССР 169398 (Бюлл. изобр., 1965, № 6).
- [909] И. В. Александров, С. А. Бонгард, А. Н. Евдокимов-Скопинский, Т. В. Краснова, Н. В. Пругло, Н. С. Спасокукоцкий, Авт. свид. СССР 163891 (Бюлл. изобр., 1964, № 13).
- [910] Н. В. Пругло, А. Н. Евдокимов-Скопинский, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 424.
- [911] И. В. Александров, С. А. Бонгард, А. Н. Евдокимов-Скопинский, Н. В. Пругло, Н. С. Спасокукоцкий, Авт. свид. СССР 165378 (Бюлл. изобр., 1964, № 18).
- [912] А. Н. Евдокимов-Скопинский, И. В. Александров, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, М. И. Виницкая, Т. И. Фомина, Авт. свид. СССР 181992 (Бюлл. изобр., 1966, № 10).
- [913] Н. В. Пругло, С. А. Бонгард, А. И. Вейцман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 96.
- [914] Н. Н. Кудрявцева, З. Я. Курина, А. В. Казымов, Г. В. Дерстуганов, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, Т. П. Вагзаносова, Авт. свид. СССР 217943 (Бюлл. изобр., 1968, № 16).
- [915] С. А. Бонгард, Н. С. Спасокукоцкий, Н. В. Пругло, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 286; Н. В. Пругло, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, там же, 360.
- [916] Н. В. Пругло, С. А. Бонгард, Н. С. Спасокукоцкий, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 194.
- [917] М. С. Хайкин, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, В. А. Кухтин, Авт. свид. СССР 162422 (Бюлл. изобр., 1964, № 9).
- [918] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 375; Г. В. Дерстуганов, Е. Ф. Руль, Д. Б. Шамильская, М. С. Хайкин, В. А. Кухтин, Л. Г. Федорина, Кинотехника, 1964, 10, 30.
- [919] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Н. А. Пачкова, О. Г. Лукина, Т. Ф. Баранова, Авт. свид. СССР 198912 (Бюлл. изобр., 1967, № 14).
- [920] М. С. Хайкин, Е. Ф. Руль, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 362.
- [921] Н. Ф. Усачева, Ю. Г. Оранский, Р. С. Сафиуллин, Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 459.
- [922] Е. Ф. Руль, Б. Б. Беркенгейм, Г. В. Дерстуганов, М. С. Хайкин, Г. А. Егорова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 252.
- [923] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, J. Phot. Sci., 1967, 15, 174; М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Г. В. Дерстуганов, там же, 241.
- [924] М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, В. А. Кухтин, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Авт. свид. СССР 148722 (Бюлл. изобр., 1962, № 13).
- [925] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Авт. свид. СССР 168994 (Бюлл. изобр., 1965, № 5).
- [926] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 209.
- [927] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 435.
- [928] М. С. Хайкин, Л. Г. Федорина, А. С. Фахрутдинов, В. А. Кухтин, Ж. орг. Х, 1965, 1, 356.
- [929] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1970, 15.
- [930] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, В. А. Кухтин, Г. В. Дерстуганов, А. С. Фахрутдинов, Авт. свид. СССР 150009 и 168993 (Бюлл. изобр., 1962, № 17; 1967, № 14).
- [931] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Авт. свид. СССР 162421 (Бюлл. изобр., 1964, № 9).
- [932] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 146.
- [933] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, В. А. Кухтин, Г. В. Дерстуганов, А. С. Фахрутдинов, Кинотехника, 1965, 11, 84.
- [934] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 62.
- [935] Д. Б. Шамильская, М. С. Хайкин, В. И. Шеберстов, Г. В. Дерстуганов, А. С. Фахрутдинов, Усп. научн. фотогр., 1968, XIII, 93.
- [936] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, З. В. Бабкина, Усп. научн. фотогр., 1968, XIII, 181.
- [937] Д. Б. Шамильская, М. С. Хайкин, А. С. Фахрутдинов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 140.
- [938] М. С. Хайкин, Н. Ф. Ракова, Ж. прикл. спектр., 1968, 8, 1063.
- [939] М. С. Хайкин, Н. Л. Петрова, В. А. Кухтин, ЖОХ, 1963, 33, 3941.
- [940] В. М. Гороховский, Э. А. Степанова, Н. М. Кузовенко, М. С. Хайкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 466.
- [941] Г. П. Фаерман, В. И. Шеберстов, наст. сб., стр. 000.
- [942] Н. И. Кириллов, Фотокинохимпром., 1933, 1, № 2, 64; № 4, 70.
- [943] Н. И. Кириллов, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 1-2, 90; № 4, 54.
- [944] Н. И. Кириллов, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 5, 52.
- [945] Е. А. Бауман, З. С. Шенкер, Фотокинохимпром., 1932, 1, 101.
- [946] В. И. Шеберстов, Ю. И. Букин, Кинофотопром., 1932, 1, 101.
- [947] В. И. Шеберстов, Химия проявителей и проявления, Госкиноиздат, М., 1941.
- [948] Я. М. Веприк, Г. П. Фаерман, Тр. ЛИКИ, 1956, 4, 212.
- [949] Н. И. Кириллов, Т. И. Крейцберг-Федорова, Е. С. Молодцова, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 4, 77.

[950] Г. П. Фирман, И. М. Ветрин, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 110.

[951] В. А. Царев, В. В. Козьцов, Тр. ЛИНИ, 1955, 3, 207.

[952] В. М. Гороховский, Н. М. Пономарева, Г. К. Будникова, Тр. НИИФН, 1960, 37, 71.

[953] Н. М. Кузовенко, В. М. Гороховский, Матер. II совещ. по оптике: Изд. Каз. ун-та, 1962, стр. 75.

[954] В. М. Гороховский, В. М. Гороховская, Р. Ш. Нигматуллин, Теория и практика полихромографии, изд. «Штаница», Казань, 1962, стр. 63.

[955] Г. П. Семенов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 144.

[956] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 149.

[957] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, Тр. НИИФН, 1965, 32, 17.

[958] Н. М. Кузовенко, В. М. Гороховский, Тр. НИИФН, 1965, 32, 22.

[959] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, В. К. Белоглазова, Тех. докл. на III совещ. по полихромографии, Казань, 1965, стр. 23.

[960] В. М. Гороховский, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 67.

[961] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, В. К. Белоглазова, Усп. науч. фотогр., 1968, XIII, 132.

[962] П. И. Лезина, В. А. Вейденбах, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 334.

[963] В. Л. Абрицалин, Тех. докл. и тезисы, 1962, № 1, 78; В. Л. Абрицалин, В. И. Мишкин, там же, 1964, № 8, 18; В. Л. Абрицалин, В. И. Соловьева, В. И. Шеберстов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 333.

[964] И. Б. Бломберг, Р. В. Дмитров, Ю. Е. Усачев, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 336, 405.

[965] Л. В. Криский-Алмош, Е. З. Зейденберг, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 401.

[966] В. Л. Абрицалин, Р. В. Журик, Н. И. Симонова, В. И. Шеберстов, О. Е. Шульгина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 331.

[967] А. П. Стрельникова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 37.

[968] Ю. Е. Усачев, Г. П. Фирман, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 12, 148.

[969] Н. С. Савинова, В. И. Нигулевский, Авт. свид. СССР 14339 (Бюлл. изобр., 1958, № 6).

[970] Р. В. Журик, Н. И. Симонова, О. Е. Мищенко, В. Л. Абрицалин, ЗОЖ, 1961, № 1738.

[971] Р. В. Журик, В. И. Мишкин, ЗОЖ, 1962, № 1944.

[972] М. С. Хайкин, Г. В. Дергусович, Н. И. Лещков, В. А. Кутляк, Л. В. Шамильская, Тр. НИИФН, 1960, 37, 17.

[973] М. С. Хайкин, Л. В. Шамильская, Н. И. Лещков, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 11, 12.

[974] М. С. Хайкин, Г. В. Дергусович, Н. И. Лещков, В. А. Кутляк, Л. В. Шамильская, Тр. НИИФН, 1962, 46, 5.

[975] М. С. Хайкин, Л. В. Шамильская, Н. И. Лещков, Усп. науч. фотогр., 1962, XIII, 36.

[976] Л. В. Шамильская, М. С. Хайкин, В. И. Шеберстов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 12, 110.

[977] М. С. Хайкин, Г. В. Дергусович, Г. И. Крестовникова, В. А. Кутляк, Л. В. Шамильская, Авт. свид. СССР 14339 (Бюлл. изобр., 1967, № 3).

[978] М. С. Хайкин, Г. В. Дергусович, Г. И. Крестовникова, М. С. Хайкин, В. И. Лещков, В. А. Кутляк, С. J. Wintern, Calif. Pat. appl. Ser. 1965, 2, 74, 1965, Усп. науч. фотогр., 1966, XII, 100.

[979] М. С. Хайкин, Г. В. Дергусович, Г. И. Крестовникова, В. А. Кутляк, Авт. свид. СССР 14339 (Бюлл. изобр., 1966, № 15).

[980] М. С. Хайкин, Л. В. Шамильская, Г. И. Крестовникова, В. И. Лещков, В. А. Кутляк, Р. А. Самарина, Л. П. Степанова, Авт. свид. СССР 14339 (Бюлл. изобр., 1966, № 15).

[981] М. С. Хайкин, Н. И. Лещков, В. А. Кутляк, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 37, 96, 98.

[982] М. С. Хайкин, В. А. Кутляк, Н. И. Лещков, Н. Ф. Радова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 44.

[984] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, М. С. Хайкин, В. К. Белоглазова, Усп. науч. фотогр., 1968, XIII, 137.

[985] В. М. Гороховский, Н. М. Кузовенко, Д. Б. Шамильская, Усп. науч. фотогр., 1968, XIII, 140.

[986] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 461.

[987] Н. М. Зюскин, О. Б. Глинская, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 338.

[988] Н. М. Зюскин, Е. Ю. Брайчевская, О. Б. Глинская, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 401.

[989] И. Н. Горбачева, И. И. Левкоев, Фотохимпром., 1936, 4, № 1, 59; А. М. Беркенгейм, Практикум по синт. лекарств. и душист. вещ. и фотореакт., Госхимиздат, М.—Л., 1942, стр. 218.

[990] М. А. Атабекова, И. Н. Горбачева, И. И. Левкоев, Авт. свид. СССР 14339 (Бюлл. изобр., 1934, 609; С. г. IX Congr. Intern. Phot. Sci. et appl., Paris, 1936, p. 140).

[991] И. Н. Горбачева, И. И. Левкоев, Кинофотопром., 1938, № 2, 43.

[992] Г. И. Михайлов, А. А. Приишиников, Авт. свид. СССР 52722 (Бюлл. изобр., 1938, № 2).

[993] А. Н. Иорданский, Авт. свид. СССР 56221 (Бюлл. изобр., 1939, № 12).

[994] А. М. Беркенгейм, Практикум по синт. лекарств. и душист. вещ. и фотореакт., Госхимиздат, М.—Л., 1942, ст. 223.

[995] А. Н. Иорданский, Авт. свид. СССР 52327 (Бюлл. изобр., 1937, № 12).

[996] Х. С. Богдасарян, ЖФХ, 1945, 19, 266; Acta Physicochim. URSS, 1944, 19, 436; Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 381.

[997] А. С. Хейман, С. В. Натансон, В. П. Донатова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 69; 1964, 9, 216.

[998] П. В. Мейкляр, М. Д. Мирмильштейн-Эберман, А. А. Садикова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 401.

[999] А. С. Хейман, В. П. Донатова, Л. Н. Бочарова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 61.

[1000] З. П. Докучаева, А. А. Садикова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 350.

[1001] А. С. Хейман, С. В. Натансон, Н. С. Спасокукоцкий, А. Ф. Вомпе, Р. В. Караульщикова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 44.

[1002] З. П. Докучаева, П. В. Мейкляр, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 289.

[1003] Т. Н. Герасимова, А. В. Бромберг, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 210, 425.

[1004] Л. А. Храпкина, Н. С. Спасокукоцкий, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 291.

[1005] Т. Н. Герасимова, А. В. Бромберг, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 136.

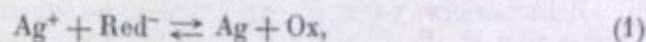
[1006] Т. Н. Герасимова, А. В. Бромберг, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 433.

правленных на выяснение назначения тех или иных компонентов проявителя, а также на установление количественных зависимостей между их концентрациями и фотографическими свойствами проявителя.

Первой из них была работа Г. П. Фаермана и Н. Н. Шишкиной «О роли щелочи в проявителе» [5], выполненная в 1932 г. одновременно с Райндерсом и Бойкерсом и независимо от них. В ней было установлено, что щелочь, вводимая обычно в состав химического проявителя, необходима для создания в растворе нужной концентрации ионов водорода. Впервые было показано, какую роль в поддержании постоянства работы проявителя играет его кислотно-основная буферная емкость. Было указано также на то, что увеличение активности проявителя с ростом его pH является следствием смещения восстановительного потенциала проявляющего вещества в сторону электроотрицательных значений, вызывающего увеличение разности потенциалов скрытого изображения и проявляющего раствора.

Экспериментальная проверка этой идеи на примерах физического и железного проявителей показала, что физический проявитель работает в кислой среде, потому что одновременно со сдвигом значений восстановительного потенциала в сторону положительных значений, обусловленным уменьшением pH раствора, происходит соответствующий сдвиг потенциала серебряных центров скрытого изображения, обусловленный повышением концентрации ионов серебра вследствие растворения в проявителе AgNO_3 [6]. Было обнаружено также, что скорость проявления цианелево-железным проявителем не зависит от pH раствора именно в том интервале значений pH, в котором наблюдается независимость от pH восстановительного потенциала системы ферриоксалат/феррооксалат.

Обобщение основной идеи этих работ привело к мысли, что скорость фотографического проявления связана с величиной свободной энергии реакции



выраженной уравнением

$$\Delta E = E_{\text{Ag}} - E_{\text{Red}} = E_{\text{Ag}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ag}^+]}{[\text{Ag}]} - E_{\text{Red}}^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]}. \quad (2)$$

Указанное положение было сформулировано Г. П. Фаерманом и С. И. Чербовым в предложенной ими электрохимической теории проявления [8].

Эта теория послужила отправным пунктом для многих работ, имевших целью ее экспериментальное подтверждение и уточнение.

Прежде всего было предпринято непосредственное измерение величин окислительно-восстановительных потенциалов проявляющих веществ в широком интервале значений pH. С. Г. Богданов первым непосредственно измерил величины нормальных редокс-потенциалов метола [9] и *n*-аминофенола в интервале pH 7–11 [10]. В дальнейшем аналогичные измерения для *n*-оксифенилглицина в интервале pH 4–10 были выполнены Я. М. Веприком и Г. П. Фаерманом [11].

Открывшаяся в результате этих работ возможность количественной оценки величины разности потенциалов «серебряной» (E_{Ag}) и «проявляющей» (E_{Red}) систем позволила показать, что для *n*-аминофенола, метола и *n*-оксифенилглицина результаты проявления оказываются одинаковыми, если величины $\Delta E = E_{\text{Ag}} - E_{\text{Red}}$ одинаковы [12–14]. Оказалось, что эта закономерность сохраняется и при изменении температуры проявления [15].

Потенциометрические титрования растворов, содержавших проявляющее вещество и сульфит натрия, выполненные С. Г. Богдановым, пока-

зали, что восстановительный потенциал таких растворов остается постоянным и сохраняет наиболее отрицательное значение до тех пор, пока не будет окислен весь содержащийся в растворе сульфит. Этот результат получил истолкование в результате работ [16, 17]. Выяснилось, что результаты опыта Богданова объясняются тем, что окисленная форма проявляющего вещества в растворе накапливается не может.

В результате реакции этой формы с сульфитом натрия происходит частичная регенерация проявляющего вещества, частично же образуются его сульфопроизводные, также обладающие проявляющим действием. Таким образом, концентрация Ox-формы проявляющего вещества в растворе оказывается очень малой и практически постоянной.

Если $[Ox] = \text{const}$, то уравнение (2) преобразуется в

$$\Delta E = E_{Ag} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ag^+]}{[Ag]} - E_R + \frac{RT}{nF} \ln [Red] = A + \delta \lg [Red], \quad (3)$$

из которого следует, что между восстановительным потенциалом проявляющего вещества и логарифмом его концентрации в проявителе должна существовать линейная зависимость.

В. А. Вейденбах и Е. А. Карпович для диэтил-*n*-фенилендиамина [18], А. И. Кан-Коган [19], С. Г. Богданов и П. И. Левина [20] для большинства проявляющих веществ, применяемых в черно-белых проявителях, исследовали зависимость действия проявителя от концентрации в нем проявляющего вещества. Найдено, что эта зависимость может быть выражена уравнением

$$D_{t=\text{const}, \nu=\text{const}} = B + \delta \lg [Red], \quad (4)$$

т. е. уравнением того же вида, что и уравнение (3). Это, естественно, приводит к предположению о существовании линейной зависимости между ΔE и $D_{t, \nu}$.

Исследование роли щелочи в проявителе было продолжено С. Г. Богдановым и Н. В. Полиновой [21—23], детально исследованными буферную емкость различных проявителей и влияние ее на действие проявляющего раствора, в частности существо и механизм действия так называемых выравнивающих проявителей.

Г. П. Фертман и Н. Н. Шинкина показали, что обнаруженная ими ранее линейная зависимость $D_{t, \nu}$ от pH проявителя наблюдается и для красочного изображения при проявлении цветной многослойной пленки [24]. Они показали также, что такая же зависимость существует между количеством проявленного серебра в фотографическом изображении и pH проявителя, т. е. что линейность функции $D_{t, \nu} = f(\text{pH})$ определяется не фотометрическими, а химическими факторами [25].

Обстоятельные исследования действия бромидов калия в проявителе были выполнены в начале нашего столетия Шенардом, Мисом и Нитцем. Механизм этого действия, связанный с регулированием концентрации ионов серебра в проявляющем растворе в соответствии с законом приведения растворимости, был выяснен еще Абеттом. По этой причине специальные исследования по этому вопросу в СССР не проводились. Во внимание к проблеме фотографического проявления органических активизирующих веществ вышло работа, посвященное изучению их действия в фотографических проявителях.

Были изучены величина приведенной растворимости серебряных солей наиболее употребительных из этих веществ [26—32]. Установлено, что скорость восстановления этих солей проявителем убывает в той же последовательности, в какой уменьшается их растворимость, а действие их заключается в образовании на эмульсионных кристаллах бромидов серебра инверсионных слоев соответствующих солей, менее растворимых,

чем бромид серебра. Вещества, серебряные соли которых более растворимы, чем бромид серебра, например 5-метил-7-окси-1,3,4-триазоиндолизин (ста-соль), не оказывают влияния на ход процесса проявления [32—34].

Результаты работ, посвященных физическому проявлению [6, 35], в основном соответствуют ожидавшимся из электрохимической теории проявления. Упомянутые выше измерения окислительно-восстановительных потенциалов *n*-оксифенилглицина при различных значениях pH показали, что при низких значениях pH редокс-потенциал *n*-оксифенилглицина отрицательнее такового для метола. Это обстоятельство позволило создать весьма активный физический проявитель, применение которого оказалось целесообразным в ряде случаев, в особенности для проявления следов ионизирующих частиц в толстых эмульсионных слоях фотографических материалов для ядерных исследований [35—39].

В связи со стремлением повысить устойчивость физических проявителей были проведены исследования влияния различных высокомолекулярных веществ на кинетику восстановления ионов серебра проявляющими веществами [6, 40, 41].

В результате этих работ появилась возможность количественной оценки величины разности потенциалов «серебряной» (E_{Ag}) и «проявляющей» (E_{Red}) систем и ее зависимости от концентрации компонентов в проявителе. Общее уравнение для этой зависимости имеет вид

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{Ag}^0 + \frac{RT}{nF} \ln [Ag^+] - E_{Red}^0 + \frac{RT}{nF} \ln [Red] - \frac{RT}{nF} \ln f [H^+] = \\ &= E_{AgBr} - \frac{RT}{nF} \ln [Br^-] - E_{Red}^0 + \frac{RT}{nF} \ln [Red] - \frac{RT}{nF} \ln f [H^+]. \end{aligned} \quad (5)$$

Как было указано, для *n*-аминофенола, метола и *n*-оксифенилглицина результаты проявления оказываются одинаковыми, если величины $\Delta E = E_{Ag} - E_{Red}$ одинаковы [13, 42]. Оказалось, что эта закономерность сохраняется и при изменении температуры проявления [15]. Этот результат не следует, однако, понимать как универсальный. В общем случае равенство свободных энергий реакций вовсе не означает равенства их скоростей. Но в серии реакций, в которых один из двух реагирующих между собой компонентов остается неизменным, а второй изменяется так, что основные черты его строения сохраняются (а именно это имело место при изучении кинетики проявления производными *n*-аминофенола), можно, по-видимому, ожидать соответствия между термодинамическими и кинетическими параметрами реакции. Именно это имеет место в случае реакции фотографического проявления (1).

Исследование кинетики фотографического проявления

Не меньшее количество работ, выполненных в СССР за последние 50 лет, было посвящено изучению механизма и кинетики реакции проявления. В этой области большое значение имели работы А. И. Рабиновича и его школы. А. И. Рабинович впервые четко сформулировал идею, в соответствии с которой экспонированные кристаллы галоидного серебра становятся проявляемыми, потому что расположенные на их поверхности серебряные центры скрытого изображения способны адсорбировать проявляющее вещество.

Адсорбция гидрохинона коллоидными частицами металлического серебра и отсутствие ее на кристаллах бромида серебра было доказано экспериментально сначала в условиях кислой [43—45], а затем и щелоч-

ной среды [46]. Результаты этих опытов в дальнейшем некоторые авторы подвергли сомнению.

Однако другие, и в частности Джеймс, доказывали связь между избирательным действием проявляющих веществ и адсорбцией их на центрах скрытого изображения, но иными, чем А. И. Рабинович, способами. Эти идеи были распространены впоследствии Джеймсом и на адсорбцию ионов серебра, впервые установленную В. И. Веселовским [47].

Фотографическое проявление основано на окислительно-восстановительной реакции (1). Серебряные центры проявления служат частицами гетерогенного катализатора этой реакции. Реакция складывается по меньшей мере из двух стадий:

1) отдача электронов проявляющим веществом серебряному зародышу —



2) нейтрализации ионов серебра электронами —



где e равно 1 или 2. Важно указать, какую из этих стадий катализирует центр проявления.

Еще в 1921 г. Фольмер показал, что серебро способно катализировать окисление проявляющих веществ; это было подтверждено в работе [48]. Кроме того, серебро не оказывает влияния на скорость окисления не проявляющих изомеров (например, резорцина) [48]. На основании этих данных был сделан вывод, что в процессе проявления серебро катализирует стадию (6a).

Согласно представлениям химической кинетики, гетерогенный катализ должен сопровождаться адсорбцией хотя бы одного из двух реагирующих веществ на поверхности катализатора и снижением энергии активации реакции под действием катализатора.

В нашем случае реагирующими веществами являются ионы Ag^+ и молекул или ионы проявляющего вещества.

Еще в 1933 г. В. И. Шеберстов установил [49], что температурный коэффициент проявления вуали (α_v) больше, чем температурный коэффициент проявления изображения (α_i). В большинстве работ [49—59] указано, что энергия активации проявления вуали (ϵ_v) заметно больше, чем энергия активации проявления изображения (ϵ_i); величины ϵ_v составляют от 20 до 40 ккал./моль, а величины ϵ_i нормально экспонированных участков слоя лежат в большинстве случаев на уровне 10—12 ккал./моль.

Величины ϵ_v и ϵ_i зависят от состава и степени созревания фотографической эмульсии [49, 52, 57], от содержания противоваляющих веществ в проявителе [53, 57], от химической структуры проявляющего вещества [51, 57].

Было показано [51], что энергия активации проявления станином натрия, который действует совершенно неселективно, лежит на уровне энергии активации диффузионных процессов, т. е. истинная энергия активации реакции проявления в этом случае близка нулю. Вместе с тем при проявлении λ -аминофенолом, который проявляет с высокой степенью избирательного действия [60], энергия активации проявления вуали (ϵ_v) высока (20—35 ккал./моль) и превышает более чем на 10 ккал./моль энергию активации проявления нормально экспонированных участков слоя.

Вообще, как было установлено [51—57], высокая селективность проявления определяется двумя основными условиями:

1) высокой энергией активации проявления вуали (ϵ_v);

2) значительным снижением энергии активации под действием серебряных зародышей, что количественно выражается величиной

$$\Delta\epsilon = \epsilon_v - \epsilon_i$$

Для количественной оценки степени избирательного действия проявителей на фотографические слои была предложена [50, 60] величина «селективность проявления»:

$$U = k \frac{v_i}{v_f} \quad (7)$$

где v_i и v_f — скорости проявления изображения и вуали. Величины v_i и v_f могут быть выражены [57] в общем виде равенствами

$$v_i = P_i e^{-\epsilon_i/RT} \quad (8a)$$

$$v_f = P_f e^{-\epsilon_f/RT} \quad (8b)$$

где P_i и P_f — множители, в скрытом виде включающие все те факторы, от которых зависит скорость проявления, помимо энергии активации ϵ_i и ϵ_f . Подставляя (8a) и (8b) в (7), получаем

$$U = k \frac{v_i}{v_f} = \frac{P_i}{P_f} e^{\Delta\epsilon/RT} \quad (9)$$

где $\Delta\epsilon = \epsilon_v - \epsilon_i$.

Из равенства (9) следует, что селективность проявления тем больше, чем больше разность $\Delta\epsilon$, что хорошо подтверждается экспериментальными данными [51—59].

Механизм каталитического действия серебряных зародышей в процессе проявления был рассмотрен в работах [58, 61] с точки зрения теории активных ансамблей Кобозева [62]. Согласно этой теории, каталитической активностью обладает аморфная фаза катализатора, по отношению к которой вся остальная, кристаллическая, часть катализатора выполняет функции инертной подкладки. Эта точка зрения согласуется с результатами И. М. Ратнер, К. В. Чибисова и В. А. Каргина [63], показавшими, что фотографически активными являются аморфные структуры серебра.

Стадия формирования серебряного зародыша на эмульсионном зерне в процессе проявления была рассмотрена в работе [64]. Принимая во внимание данные работы [65], что энергия активации термического рассасывания серебряного центра быстро возрастает с увеличением числа q атомов Ag в центре, было найдено [64] следующее выражение для скорости v роста зародыша:

$$v = k_1 C_{\text{Red}} S \beta e^{-\epsilon_i/RT} - k_2 e^{-\epsilon_q/RT} \quad (10)$$

где C_{Red} — концентрация активной формы проявляющего вещества около центра проявления; S — поверхность зародыша; β — число активных участков на единице поверхности; ϵ_i — энергия активации реакции проявления; ϵ_q — энергия активации термического рассасывания зародыша.

Х. С. Багдасарян применил к рассмотрению реакции фотографического проявления [67—71].

Тем самым было высказано предположение, что не только зависимость свойств проявителя от концентрации входящих в его состав компонентов может быть установлена путем рассмотрения реакции проявления с точки зрения электрохимической термодинамики, но что и механизм реакции является электрохимическим. Развивая эту идею, Х. С. Багдасарян получил рациональным путем аналитическое выражение для зависимости скорости проявления от концентрации в растворе ионов серебра и про-

являющих веществ. Это же выражение было найдено эмпирически Джеймсом и истолковано им с точки зрения адсорбционной теории проявления.

Идея Х. С. Багдасарьяна об электрохимической природе механизма реакции проявления была подвергнута экспериментальной проверке в работах Г. П. Фаермана и Е. Д. Воейковой [72, 73]. Установлено, что катализаторами реакции проявления являются только электропроводящие вещества и что, следовательно, избирательное действие проявителя связано с каталитическим действием серебряных центров скрытого изображения. По-видимому, энергия активации процесса непосредственной передачи электрона от проявляющего вещества Red^- иону серебра Ag^+ больше, чем через посредство металлической частицы. Происходит это потому, что на поверхности этих серебряных частиц протекают электродные реакции $\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$ и $\text{Red} - e^- \rightleftharpoons \text{Ox}$, подобно тому как это происходит в короткозамкнутом гальваническом элементе.

Процесс фотографического проявления не сводится только к реакции восстановления ионов серебра проявляющим веществом. Он складывается из других одновременно и последовательно протекающих химических реакций, а также процессов набухания эмульсионного слоя, проникновения в него компонентов проявителя, распределения их внутри слоя, взаимодействия их с желатиной, обратной диффузии продуктов реакции из слоя в раствор и некоторых других.

Все эти процессы в той или иной мере отражаются на кинетике суммарного процесса проявления. Их влияние определяется тем, с какой скоростью каждый из этих процессов протекает в данных конкретных условиях.

Большое количество работ И. Б. Блюмберга и его сотр. [74—92] было посвящено изучению влияния этих факторов. В особенности подробно исследованию были подвергнуты процессы проникновения компонентов проявителя в эмульсионный слой и массообмена между эмульсионным слоем и обрабатывающим раствором. Обнаружено, что концентрации компонентов проявителя в эмульсионном слое во многих случаях существенно отличаются от концентрации их в растворе. Это объясняется избирательной адсорбцией этих веществ, желатиной или галоидным серебром, а также различиями в скоростях диффузии в желатине как исходных, так и конечных продуктов реакции проявления. Было исследовано воздействие гидродинамических условий на границе пленка—раствор на скорость проявления и фиксирования. Указанные работы оказали существенное влияние на развитие технологии обработки пленки. (Более подробно см. стр. 165).

Работы И. Б. Блюмберга и Н. И. Кириллова позволили более отчетливо понять влияние химических, диффузионных и адсорбционных явлений на сложный процесс химической обработки фотографических материалов. Наиболее важным результатом всех этих исследований, по нашему мнению, является то, что они показали существенную важность для теории процесса проявления изучения и понимания всех деталей химических и физико-химических явлений, разыгрывающихся внутри эмульсионного слоя в процессе его проявления и фиксирования и невозможность при детальном изучении этих явлений исходить только из состава обрабатывающих растворов.

Особым направлением в исследовании кинетики фотографического проявления является исследование восстановления отдельных кристаллов бромида серебра фотографической эмульсии. Работы советских исследователей внесли заметный вклад и в этот вопрос.

Первой работой по микрокинематографическому исследованию процесса проявления отдельного эмульсионного кристалла, выполненной в Советском Союзе, была работа К. В. Чибисова, доложенная на 1-й Все-

союзной конференции по научной фотографии в 1932 г. В этой работе были наблюдаемы «протуберанцы» серебра, вырастающие из проявляемого кристалла его бромида. А. И. Рабинович в 1938 г. произвел свое известное исследование кинетики проявления [46], применив метод микрофотографирования. Он получил впервые серию микрофотографий, иллюстрирующих постепенное распространение процесса восстановления эмульсионного кристалла AgBr , начинающегося из одного центра. Применение электронного микроскопа позволило Г. П. Фаерману и Н. Н. Шишкиной исследовать условия роста нитей серебра при химическом проявлении и кристаллов серебра при физическом [93].

К. С. Ляликов и В. Н. Пискунова попытались с помощью электронно-микроскопических исследований ответить на вопрос о том, восстанавливаются ли ионы серебра при химическом проявлении непосредственно из кристаллической решетки AgBr или же из раствора, образующегося у поверхности проявляемого кристалла [94]. В последние годы обширные микрокинематографические исследования процесса проявления были приняты К. А. Августиновичем в ЛИКИ.

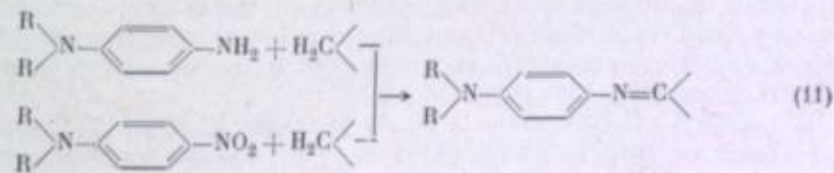
В последние годы в СССР было выполнено большое количество работ, посвященных исследованию кинетики быстрого проявления. В. А. Вейденбах и П. И. Левина, И. Б. Блюмберг с сотр., Н. И. Кириллов с сотр. и другие исследователи много сделали для выяснения физико-химических условий протекания этих специфических процессов. Ограниченность объема доклада не позволяет нам более подробно остановиться на этих работах и их связи с общей физико-химической характеристикой процесса проявления.

Цветное проявление

Мы не останавливаемся здесь на работах в области технологии цветного проявления, так как они будут подробно освещены И. Б. Блюмбергом и Н. И. Кирилловым (см. стр. 165). Рассмотрим здесь лишь результаты исследований механизма цветного проявления многослойных цветофотографических материалов.

Для понимания механизма реакции цветного проявления необходимо было прежде всего идентифицировать красители, образующиеся при цветном проявлении, и установить суммарное уравнение этой реакции.

А. Е. Порай-Кошиц с сотр. [95, 96] впервые показал, что при окислении бромидом серебра смеси диалкил-*n*-фенилендиаминов с α -нафталом или с 1-фенил-3-метилпиразолоном-5 образуются те же красители, что и при конденсации соответствующих *n*-нитрозодиалкиланилинов с этими же компонентами:



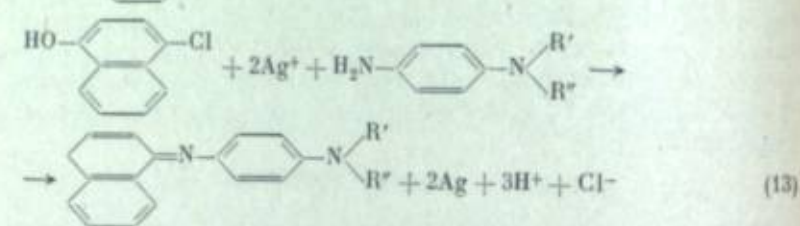
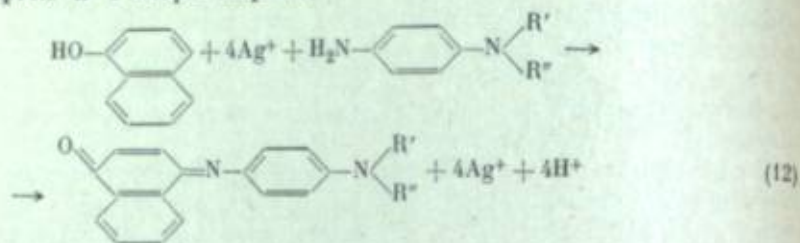
Г. И. Арбузов [97] доказал идентичность красителей, образующихся в фотографическом слое при цветном проявлении и получающихся конденсацией тех же компонент, например 1-фенил-3-метилпиразолона с *n*-нитрозодиалкиланилинами.

Таким образом, было доказано, что при цветном проявлении получают азотинные и индоанилиновые красители с функциональной группой $\text{---N}=\text{C} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array}$. В работах [95, 96] было показано также, что в реакциях окислительной конденсации с участием компонент, производных

α -нафтола, конденсация проходит по *n*-положению относительно гидроксила нафталинового ядра.

Работы [98—103] были посвящены исследованию выхода красителей при цветном проявлении. Показано, что практически наблюдаемый выход красителя близок теоретически ожидаемому: 1 моль красителя образуется при восстановлении 4 или 2 грамм-атомов серебра (последнее при наличии заместителя — атома хлора — в *n*-положении относительно гидроксила нафталинового ядра компоненты).

На основании перечисленных работ можно считать экспериментально доказанным, что суммарный ход цветного проявления выражается уравнениями (12) или (13); в качестве примеров компонент в этих уравнениях взяты 1-нафтол и 4-хлор-1-нафтол:



Приведенные суммарные уравнения, однако, еще не дают представления о механизме и характере промежуточных реакций, приводящих к образованию красителя.

Были высказаны предположения [104—106], что цветное проявление протекает по меньшей мере в две стадии. На первой стадии происходит восстановление галогенида серебра с образованием продукта окисления проявляющего вещества; на второй стадии этот продукт реагирует с компонентой с образованием красителя. В пользу этого представления говорит, в частности, тот факт [104], что продукт окисления может диффундировать на расстояние до 10—12 мк от поверхности AgBr, на которой протекает окисление проявляющего вещества. Первичным продуктом этого окисления, как показал К. С. Ляликов [107], является семихинон. Наиболее вероятным реакционноспособным продуктом окисления диалкил-*n*-фенилендиамина, вступающим в реакцию конденсации, является хинондимин, образование которого протекает через промежуточную стадию получения семихинона [106].

В работе Г. П. Фаермана и Н. Н. Шишкиной [108] было показано, что плотность изображения, образованного красителем, возрастает линейно с ростом pH, откуда следует, что, во-первых, стадией, определяющей скорость цветного проявления, является скорость восстановления галогенида серебра, и, во-вторых, количество образующегося красителя пропорционально количеству восстановленного серебра.

В работе [102] определены нормальные потенциалы цветных проявляющих веществ в практических условиях работы; они оказались равными для диэтил-*n*-фенилендиамина 109,6 мв и для этилоксиэтил-*n*-фенилендиамина — 58,6 мв.

В работе [109] была изучена энергия активации процесса цветного проявления и предложено количественно характеризовать активность

цветных компонент величиной энергии активации. Рекомендовано [110] активность цветных компонент в отношении скорости цветного проявления количественно характеризовать также зависимостью коэффициента контрастности слоя от концентрации компоненты. Определено [103] влияние концентрации сульфата в проявителе на активность цветных компонент и выход красителей при цветном проявлении. Осциллополярное графическое исследование цветных проявляющих веществ выполнено в работе [111]. Проведены исследования зависимости кинетики цветного проявления от температуры [112, 113].

Синтез и исследование новых проявляющих веществ

В настоящее время в качестве проявляющих веществ помимо давно известных окси- и аминопроизводных ароматического ряда применяют некоторые гетероциклические соединения.

Из гетероциклических соединений, обладающих проявляющей способностью, наибольшее внимание за последние годы привлек 1-фенилпиразолидон-3, известный в практической работе под названием «фенидон».

Известно, что фенидон в сочетании с гидрохиноном обладает значительным суперрадикальным действием. В работе [114] было показано, что фенидон действует суперрадикально не только в смеси с гидрохиноном, но и с другими проявляющими веществами, содержащими в составе молекулы по меньшей мере две оксигруппы. Исключением из этого правила явился *n*-оксифенилглицин, который содержит только одну оксигруппу; тем не менее фенидон в сочетании с ним обладает суперрадикальным действием. Однако, как было показано [115], *n*-оксифенилглицин фактически не является исключением, так как при его окислении образуется 2,5-диоксифенилглицин, который, по-видимому, в сочетании с фенидоном ведет себя так же, как и другие диоксипроизводные.

Помимо фенидона синтезированы [116] многие производные пиразолидона-3, исследование фотографических свойств которых показало [117], что большинство из них обладает отчетливо выраженным суперрадикальным действием по отношению к гидрохинону; степень суперрадикальности зависит от природы и положения заместителя в молекуле пиразолидона.

Были изучены [118, 119] проявляющие свойства 4-аминопиразолонов-5. Рассмотрено влияние электронного характера заместителей в положении 1 пиразолонового ядра на скорость и селективность проявления фотографических слоев 3-метил-4-аминопиразолонами; найдено, что большинство исследованных соединений по фотографическим свойствам аналогично амидолу, но некоторые из них превосходят амидол по селективности, не уступая ему в скорости проявления. Некоторые из этих соединений нашли применение в качестве проявляющих веществ при обработке ядерных фотоэмульсий [120]. Исследовано [121] суперрадикальное действие 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолона-5 с различными проявляющими веществами. В работе [122] описан метод количественного анализа указанного соединения.

Из гетероциклических соединений с кислородом в ядре были исследованы бициклические диоксисоединения: 7,8-диоксикумарины-дафетины [123] и 6,7-диоксикумарины-эскулетины [124]. Было найдено, что как дафетины, так и эскулетины помимо проявляющих свойств обладают дубящим действием и поэтому некоторые из них были рекомендованы для дубящего проявления гидротипных матричных пленок.

Обнаружены проявляющие свойства у оксибензоилпирагаллолов [125]. Найдено [126], что проявляющими свойствами обладают также эфиры полиоксибензолов, что объяснено гидролизом в щелочных растворах

этих эфиров с образованием свободных полиоксибензолов. Изучены [127—129] проявляющие свойства алкильных производных 7,8-диоксибензоцирконийхлорида; обнаружено дубящее действие продуктов на окисления; вследствие чего некоторые из указанных соединений рекомендованы для проявления гидротипных матричных пленок.

Заключение

В нашем, по необходимости кратком обзоре мы попытались дать представление о важнейших направленных физико-химических исследований процесса фотографического проявления, проводившихся в Советском Союзе. Мы упомянули о большом количестве работ, выполненных в последние за эти годы школах и группах исследователей. Тем не менее многие, даже значительные работы остались здесь нерассмотренными. Достаточно назвать работы П. Д. Данкова, В. А. Вейденбаха, Н. М. Зюскина, В. Я. Михайлова, Г. В. Дерстуганова и многих других. Рассмотрение всех этих важных и интересных работ потребовало бы значительного расширения объема нашего доклада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. В. Термантон, Ж. Русск. физ.-хим. общ., физ. отд., 1877, 9, № 7, 26.
- [2] Н. А. Шилкин, К теории фотографического проявления, М., 1914.
- [3] К. В. Чибисов, Kinetoschnik, 1923, II, 227.
- [4] К. В. Чибисов, Kinetoschnik, 1923, II, 291.
- [5] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шилкина, ЖФХ, 1932, 3, 390.
- [6] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шилкина, ЖФХ, 1934, 5, 458.
- [7] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шилкина, ЖФХ, 1934, 5, 464.
- [8] Г. П. Фаерман, С. И. Чербин, Фотохим. пром., 1934, 2, № 3, 30.
- [9] С. Г. Богданов, ЖФХ, 1934, 5, 445.
- [10] С. Г. Богданов, ЖФХ, 1936, 7, 214.
- [11] Н. М. Вейдман, Г. П. Фаерман, ЖФХ, 1932, 3, 502.
- [12] G. P. Bogdanov, in: Trav. IX Congr. Intern. Phot., Paris, 1935, 198.
- [13] Н. Н. Шилкина, ЖФХ, 1937, 9, 848.
- [14] Н. М. Вейдман, Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1938, 3, 345.
- [15] Н. Н. Шилкина, ЖФХ, 1948, 22, 331.
- [16] Н. Вейдман, В. Таубель, Phot. Kongr., 1935, 71, 17.
- [17] Н. М. Вейдман, W. T. Hanson, J. Phys. Chem., 1937, 41, 509.
- [18] Н. А. Вейденбах, Н. А. Карпович, ЖФХ, 1951, 25, 903.
- [19] А. Н. Кален-Богдан, Фотохим. пром., 1934, 2, № 3, 35.
- [20] С. Г. Богданов, Н. Н. Шилкина, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 177.
- [21] С. Г. Богданов, Н. Н. Шилкина, Ж. научн. и прикл. фотогр., 1959, 23, 702.
- [22] С. Г. Богданов, Н. Н. Шилкина, Усп. научн. фотогр., 1955, III, 294.
- [23] С. Г. Богданов, Н. Н. Шилкина, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 202.
- [24] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шилкина, ЖФХ, 1951, 25, 1028.
- [25] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шилкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1952, 7, 20.
- [26] Г. П. Фаерман, А. Е. Сивилева, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 81.
- [27] Г. П. Фаерман, В. А. Писляева, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 85.
- [28] Г. П. Фаерман, В. С. Писляева, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 107.
- [29] В. А. Писляева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 2, 101.
- [30] В. А. Писляева, М. И. Файнштейн, Г. П. Фаерман, Тр. ЛИКИ, 1958, 99, 79.
- [31] Г. П. Фаерман, М. И. Файнштейн, Тр. ЛИКИ, 1957, 12, 21.
- [32] Г. П. Фаерман, Усп. научн. фотогр., 1958, XIII, 162; J. Phys. Sci., 1957, 15, 22.
- [33] Г. П. Фаерман, А. И. Писляева, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 104.
- [34] Г. П. Фаерман, М. И. Файнштейн, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 5, 436.
- [35] Г. П. Фаерман, Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 22, 365.
- [36] Г. П. Фаерман, Г. П. Фаерман, Тр. ЛИКИ, 1956, 4, 212.
- [37] Г. П. Фаерман, С. И. Писляева, Г. П. Фаерман, Приборы и техника фотографии, 1959, № 3, 126.
- [38] Г. П. Фаерман, С. И. Писляева, М. И. Файнштейн, Г. П. Фаерман, Журнал фотографии, Изд. АН СССР, М., 1962, стр. 302.

- [39] Я. М. Вейдман, Е. М. Прокофьева, Л. А. Хаина, Тр. ЛИКИ, 1962, 6, 27.
- [40] Я. М. Вейдман, В. Н. Синцов, Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 434.
- [41] Я. М. Вейдман, В. Н. Синцов, Г. П. Фаерман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 27.
- [42] Г. П. Фаерман, в сб.: С. г. IX Congr. Intern. Phot., Paris, 1935, p. 198.
- [43] А. И. Рабинович, С. С. Пейсахович, Л. Н. Минаев, в сб.: Ber. d. VIII Intern. Congr. f. Rhot., Dresden, 1931.
- [44] А. И. Рабинович, ЖФХ, 1933, 4, 630.
- [45] А. И. Рабинович, С. С. Пейсахович, ЖФХ, 1933, 4, 641; 1936, 7, 467.
- [46] А. И. Рабинович, Trans. Faraday Soc., 1938, 34, 920.
- [47] В. И. Веселовский, Acta Phys. Chim. USSR, 1939, 11, 815.
- [48] В. И. Шеберстов, Г. Е. Шеберстова, Тр. НИКФИ, 1947, 7, 101.
- [49] В. И. Шеберстов, Фотохим. пром., 1933, 1, № 2; 31; № 3, 29.
- [50] Ц. С. Арнольд, А. А. Титов, ДАН СССР, 1950, 73, 1213.
- [51] В. И. Шеберстов, М. С. Бородкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 118.
- [52] В. И. Шеберстов, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 277.
- [53] В. И. Шеберстов, М. С. Бородкина, В. П. Донатова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 112; 1960, 5, 331.
- [54] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 341; 1961, 6, 97.
- [55] В. И. Шеберстов, К. В. Вендровский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 103.
- [56] В. И. Шеберстов, А. С. Хейман, М. С. Бородкина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 182.
- [57] В. И. Шеберстов, Кинотехника, 1963, 3, 54.
- [58] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 441.
- [59] В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 5.
- [60] В. И. Шеберстов, Химия проявителей и проявления. 2-е изд., Госкиноиздат, М., 1941.
- [61] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 429.
- [62] Н. И. Кобозев, Усп. хим., 1956, 25, 545.
- [63] И. М. Ратнер, К. В. Чибисов, В. А. Каргин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 7.
- [64] В. И. Шеберстов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 46.
- [65] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 57.
- [66] А. Н. Фрумкин, В. С. Багоцкий, З. А. Иофа, Б. Н. Кабанов, Кинетика электродных процессов. Изд. МГУ, 1952.
- [67] Х. С. Багдасарьян, ЖФХ, 1943, 17, 336.
- [68] Х. С. Багдасарьян, Acta Physicochim. USSR, 1944, 19, 421.
- [69] Х. С. Багдасарьян, ЖФХ, 1945, 19, 665.
- [70] Х. С. Багдасарьян, ЖТФ, 1946, 16, 703.
- [71] Х. С. Багдасарьян, Усп. хим., 1947, 16, 652.
- [72] Г. П. Фаерман, Е. Д. Воейкова, Усп. научн. фотогр., 1955, III, 174.
- [73] Г. П. Фаерман, Е. Д. Воейкова, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 150.
- [74] И. Б. Блюмберг, Н. Гинно, Тр. ЛИКИ, 1956, 4, 165.
- [75] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 90.
- [76] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, М. Я. Пикус, А. Е. Нейман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 39.
- [77] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 235.
- [78] И. Б. Блюмберг, Н. Б. Варшавская, Т. А. Васильева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 171.
- [79] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 33.
- [80] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 69.
- [81] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 81.
- [82] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 3.
- [83] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 132.
- [84] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 1.
- [85] И. Б. Блюмберг, Р. В. Димитров, Ю. Е. Усанов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 336.
- [86] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, Р. В. Димитров, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 89.
- [87] И. Б. Блюмберг, Л. Н. Федорук, Усп. научн. фотогр., 1964, X, 243.

- [88] Н. В. Блюмберг, Р. В. Дмитриев, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 461.
- [89] Н. В. Блюмберг, Тр. ЛИНН, 1961, 6, 43.
- [90] Н. В. Блюмберг, Г. А. Новацкая, Н. А. Обольянинова, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 190.
- [91] Н. В. Блюмберг, Н. М. Давыдкин, Усп. науч. фотогр., 1962, 8, 446.
- [92] Н. В. Блюмберг, И. Ф. Назаров, Р. В. Дмитриев, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 445.
- [93] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шишкина, ИИХ, 1952, 25, 776.
- [94] К. С. Лядиков, В. Н. Игоскунова, Усп. науч. фотогр., 1955, III, 412.
- [95] А. Е. Перей-Ковши, Изв. АН СССР, ОХН, 1945, 3, 261.
- [96] М. И. Крымкова, Тр. Лен. хим.-техн. инст., 1941, 6, 47.
- [97] Г. И. Арбузов, Ж. прикл. хим., 1950, 23, 886.
- [98] А. Н. Норданский, Г. И. Арбузов, Ж. прикл. хим., 1951, 24, 337.
- [99] С. А. Бонгард, А. Н. Норданский, В. С. Чельцов, ДАН СССР, 1952, 84, 81.
- [100] Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, Ж. прикл. хим., 1953, 26, 86.
- [101] В. С. Чельцов, А. Н. Норданский, М. В. Крашенинникова, С. А. Бонгард, Усп. науч. фотогр., 1954, II, 48.
- [102] К. С. Лядиков, Б. А. Царев, Я. Л. Лейбов, В. Н. Курнаков, Усп. науч. фотогр., 1954, II, 38.
- [103] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, В. С. Чельцов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 358.
- [104] А. В. Бромберг, Ю. Б. Виленский, Ж. прикл. хим., 1949, 22, 128.
- [105] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Усп. хим., 1953, 22, 482.
- [106] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Цветное проявление трехслойных светочувствительных материалов. Изд. «Искусство», М., 1958.
- [107] К. С. Лядиков, ДАН СССР, 1950, 75, 59.
- [108] Г. П. Фаерман, Н. Н. Шишкина, Усп. науч. фотогр., 1954, II, 61.
- [109] С. П. Шардаджиев, В. С. Чельцов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 117.
- [110] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 285; 1960, 5, 421; 1961, 6, 125.
- [111] Г. П. Сееников, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 144.
- [112] Ю. Н. Гороховский, А. Н. Каючнина-Ликсис, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 23.
- [113] Н. И. Кириллов, Л. П. Лисенко, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 84.
- [114] В. Л. Абриташи, В. Н. Соловьева, В. И. Шеберстов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 333.
- [115] Г. П. Фаерман, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 364.
- [116] Р. Б. Журин, О. Е. Лишенов, В. Л. Абриташи, Н. И. Симонова, ЖОХ, 1961, 31, 2758.
- [117] В. Л. Абриташи, Р. Б. Журин, Н. И. Симонова, В. И. Шеберстов, О. Е. Шульгина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 321.
- [118] М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, И. И. Левкоев, В. А. Кухтин, Д. Б. Шамильская, Тр. НИКФИ, 1960, 37, 17.
- [119] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, И. И. Левкоев, В. А. Кухтин, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 12.
- [120] К. С. Богомолов, Т. И. Крестовникова, М. С. Хайкин, И. И. Левкоев, В. А. Кухтин, Усп. науч. фотогр., 1966, XII, 100.
- [121] Д. Б. Шамильская, С. М. Хайкин, В. И. Шеберстов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 110.
- [122] В. М. Гороховский, Н. М. Кузюченко, В. К. Белоглазова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, X, 448.
- [123] Е. Ф. Рузь, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 146.
- [124] Е. Ф. Рузь, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 62.
- [125] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 375.
- [126] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 461.
- [127] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, Л. Г. Федорина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 209.
- [128] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамильская, В. А. Кухтин, Г. В. Дерстуганов, А. С. Фахрутдинов, Кинотехника, 1965, 11, 84.
- [129] Е. Ф. Рузь, М. С. Хайкин, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 435.

Н. В. БЛЮМБЕРГ, Н. И. КИРИЛЛОВ

ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ КИНОФОТОМАТЕРИАЛОВ

Созданная в первой пятилетке отечественная химико-фотографическая промышленность выросла за прошедшие годы в большую отрасль народного хозяйства, характеризующуюся высокоразвитой техникой и широкой научно-исследовательской базой [1-4].

В настоящее время на кинокопировальных фабриках и киностудиях нашей страны обрабатывают в год немногим менее миллиарда метров черно-белой и цветной киноплёнки разного формата. Обработку пленки проводят в современных высокомеханизированных и автоматизированных проявочных машинах с непрерывным поддержанием состава и свойств используемых растворов и применением объективных методов контроля технологического процесса. Для сравнения достаточно указать, что еще в начале 30-х годов обработку киноплёнки проводили кустарным способом (на «рамах»), с периодическим использованием обрабатывающих растворов и визуальной оценкой качества обработки пленки. Общий метраж пленок, обработанных в то время на кинокопировальных фабриках, составлял немногим более 10 млн в год.

Указанный прогресс достигнут в результате определенных достижений в развитии отечественной фотографической науки и кинофототехники, а также проведения многочисленных различных теоретических и экспериментальных исследований и разработок в рассматриваемой области; число опубликованных за 50 лет разных статей превышает тысячу. В связи с этим здесь возможно изложить в сжатом виде лишь общий обзор тех работ, которые представляются наиболее существенными и интересными.* Кроме того, интересно кратко остановиться на некоторых проблемах и вопросах развития процессов обработки кинофотоматериалов, выбор которых, естественно, субъективен.

Общий обзор

Первые обстоятельные фотографические исследования процессов обработки светочувствительных материалов, сделанные в нашей стране после Великой Октябрьской революции, были опубликованы во второй половине 20-х годов. С точки зрения химической сущности процессов обработки эти исследования использовали сведения ранее выполненных работ [5, 6] о сопряжении окисления гидрохинона и других проявляющих веществ в присутствии сульфита. Следует отметить, что изучение постав-

* Работ, относящихся к физико-химической и химической сущности проявления и процессам обработки толстослойных фотоматериалов для ядерных исследований, мы не касаемся, поскольку они являются предметом специальных обзоров (см. стр. 152 и 52).

ленных вопросов проведено было сенситометрическим методом, юным в то время учас. Систематические исследования процесса проявления и различных проявителей, роли и влияния в них отдельных компонентов и некоторых других вопросов [7—10] позволили выявить ряд интересных данных о протекании процесса проявления и установить основы для составления рациональной рецептуры проявителей. Снятый в этой серии работ фильм по макрокинематографическому исследованию процесса проявления демонстрировался на 4-й Всесоюзной конференции по научной фотографии [9]. Закономерности, наблюдаемые в процессе фотографического проявления, детально рассмотрены в монографии [11].

Несколько позднее, в первой половине 30-х годов, были выполнены дополнительные обстоятельные исследования в области сравнительной характеристики фотографических свойств проявляющих веществ и проявителей, селективности проявления, рациональной рецептуры проявителей и др. [12—16]. Результаты этих исследований приведены в монографии [17]. К первой половине 30-х годов относятся также первые разработки в области химического анализа проявляющих веществ и готовых проявителей и фиксажей [18, 19], рассмотренные позднее в монографии [20].

В связи с созданием отечественной киноплёночной промышленности [1] в 30-х годах существенно расширяется механизированная обработка пленки на киностудиях и кинокопировальных фабриках [2]. Это потребовало проведения серьезных теоретических и технологических разработок, которые заложили основы отечественной технологии обработки киноплёнки в проявочных машинах. Эти работы были выполнены в основном до начала Великой Отечественной войны в НИКФИ, ГОИ и в исследовательских лабораториях киностудий «Мосфильм», «Ленфильм» и кинокопировальных фабрик.

Проведенные работы были посвящены установлению рецептуры проявителей для отечественных киноплёнок [21—27], исследованию и разработке процесса контрастирования [28—32], без которого не может проводиться массовое печатание кинофильмов, использованию фиксирующих растворов, осаждению из них серебра и их регенерации для дальнейшей работы [33—36], контролю технологического процесса [37—38]. Были также разработаны методы химического анализа проявляющих и фиксирующих растворов [39—43] и проведены практически важные исследования по изучению качества фотокиноизображений [44—47].

Большое значение для устранения ненормального разрыва между непрерывным прохождением пленки в проявочных машинах и периодическим использованием в них растворов имели работы по изучению истощения проявляющих растворов, разработке теории непрерывных процессов обработки светочувствительных материалов и технологических расчетов [48—58], продолжавшиеся и при дальнейшем развитии технологии обработки кинофотоматериалов.

Указанные выше другие работы в рассматриваемой области в известной мере освещены в опубликованных позднее монографиях и учебных пособиях [59—66].

Вскоре после окончания Великой Отечественной войны производство и промышленная обработка кинофотоматериалов резко возросли [1, 2]; при этом значительно расширилась и научно-исследовательская база. Кроме НИКФИ и ГОИ, многочисленные работы начинают проводить в ЛИКИ, Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ЦНИИГАиК), во вновь организованных Казанском и Шосткинском филиалах НИКФИ, а с 1966 г. — во Всесоюзном государственном научно-исследовательском и проектном институте химико-фотографической промышленности (Госнихимфотопроект) и его Казан-

ском, Шосткинском и Ленинградском филиалах. Наряду с проведением работ по совершенствованию существующего технологического процесса начаты были исследования и по разработке новых процессов.

В ходе развития процессов обработки и изучения особенностей протекания процесса проявления выяснилось, что выводы из указанных выше исследований об основах рациональной рецептуры проявителей относятся лишь к обычным проявителям и обычным условиям проявления с погружением обрабатываемого материала в растворы. Это убедительно подтвердили проведенные исследования по разработке так называемых выравнивающего проявления [67—69], при котором достигаются высокие показатели светочувствительности при небольшом коэффициенте контрастности; контрастного проявления [70—72], когда, наоборот, могут получаться весьма повышенные коэффициенты контрастности; специфического дубящего проявления [73—75], при котором происходит избирательное задубливание проявляемого изображения.

Значительный теоретический и практический интерес имеют исследования по возможному повышению светочувствительности в процессе проявления [76—80] и влиянию на нее при проявлении органических антиуалирующих и других фотографических активных веществ [81—85]. Важность этих исследований обуславливается тем, что они подвергли обоснованной критике распространенное до последнего времени мнение о том, что светочувствительность и коэффициент контрастности в основном определяются лишь свойствами используемых фотоматериалов, в связи с чем на существенное влияние при этом процесса проявления практически не обращалось должного внимания.

Около 20 лет назад наметилось два основных направления в развитии процессов обработки кинофотоматериалов. В одном из них ставилась задача создания возможно максимального обмена компонентов, образующихся при обработке в эмульсионных слоях, со внешним раствором, в другом же, наоборот, этот обмен сводился к минимуму. Таким образом, стали исследоваться и разрабатываться процессы обработки пленок в струях растворов [86—88] и путем нанесения на первые обычных или вязких растворов [89—91] (этот процесс получил позднее название односторонней обработки кинофотоматериалов). По сравнению с обычными процессами (с погружением обрабатываемого материала в растворы) последние имеют существенные преимущества, заключающиеся в том, что в них можно быстро заменять нанесенный на пленку один проявитель другим; это создает оптимальные условия проявления. Кроме того, отпадает необходимость в сложных циркуляционных системах, трудоемком контроле рабочих растворов и поддержании постоянства их состава и свойств, поскольку обработка происходит всегда в свежих растворах.

Оба указанных направления исследований используются для поисков различных быстрых и ускоренных процессов обработки [88—100], которые особенно стали необходимы в послевоенное время, в связи со все возрастающим применением фотографических и кинематографических методов для различных научно-технических целей, а в последние годы и в промышленных процессах. В быстрых процессах применяют как обычную двухванную (с последовательным проявлением и фиксированием), так и однованную (с одновременным проявлением и фиксированием) обработки.

Быстрые процессы обработки пленки были успешно применены в бортовых фототелевизионных процессах при первом и втором фотографировании обратной стороны Луны с помощью советских автоматических межпланетных станций [99, 100].

Начиная с конца 40-х годов большое число различных исследований и разработок связано с широким внедрением в кинематографию, аэрофото-

графии, профессиональной и любительской фотографии цветных многослойных кинофото материалов. Выполняются обстоятельные и практические работы исследования по выяснению особенностей кинетик цветного проявления, зависимость цветного проявления от концентрации различных компонентов проявителей, температуры и др. [101—105]. Изучаются возможности повышения светочувствительности в процессе проявления [106—111], разрабатываются ускоренные процессы обработки цветных кинофото материалов [112—115], исследуется и совершенствуется процесс цветного контрастирования [116—118]. Существенно улучшается качество фотопечати цветных фильмов, для чего разрабатываются различные процессы обработки изображений и фотопечати на цветной контактной пленке [119—122]. Результаты многих исследований и разработок в области обработки цветных многослойных кинофото материалов освещены в различных пособиях и монографиях [123—131].

Первоначально работы в области обработки аэрофото материалов [129, 132] и окислительный период дополняются обстоятельными разработками более совершенных рецептур проявителей и режимов обработки черно-белых и цветных (см. выше) аэрофото материалов, исследованными специфическими условиями обработки в перемещающихся приборах и др. [133—139]. Выполненные исследования и разработки рассматриваются в опубликованных библиографических справочниках и в пособиях по аэрофотографии [121, 133, 132].

В последнее время проводится большое число исследований и разработок, касающихся совершенствования обработки черно-белых негативных и позитивных кинофильмов, применению фенидогидросульфидных проявителей и унификации различных процессов [140—144]. Улучшаются условия обработки контрастирования, применяются различные варианты факторов [145—148], детально исследуется и совершенствуется процесс обработки обфракционированных [145—148] и коллоидных [149—151] пленочных материалов и любительской и профессиональной фотографии и пленочной фотографии [152—154].

Подводя итоги обобщенным результатам исследований и инструментальной оценки качества фототелевизионных изображений от сканируемого изображения, представляется стадия технологического процесса. Для этого широко применяются математические методы обработки изображений и их характеристики. В частности, в фототелевизионных системах используются методы определения отношения усиленного сигнала к шуму, условия информативности способности фототелевизионной передачи изображений [145—148]. Нельзя при этом не отметить, что в литературе имеются публикации и статьи о структурных свойствах и влиянии экрана прибора на темноточечное значение и анализ предельного специального обзора [146—148].

В соответствии с резко возросшим общим уровнем современной техники и применением новых технических средств проводится много исследований и разработок по рациональному построению и совершенствованию технологического процесса, улучшению его стабильности и методов контроля. Существенно совершенствуются и автоматизируются проявочные и выноготательные оборудование [144—147], резко интенсифицируется процесс сушки пленки [147]. Разрабатываются новые методы анализа обрабатываемых растворов с широким привлечением быстрых полярографических методов [144—147].

Ограниченность объема настоящего обзора не позволяет остановиться на многих других интересных и важных работах, посвященных различным вспомогательным дополнительным процессам (усиленно, ослабленно, дублированию и др.), профилактической и реставрационной обработке пленочных материалов, сохранности черно-белых и цветных изображе-

ний, разным специальным процессам обработки кинофото материалов и др. В известной мере они, как и другие, рассмотренные выше исследования и разработки, освещаются в опубликованных пособиях, монографиях и сборниках [123—131, 139, 180—185].

В заключение небезытересно остановиться на некоторых новых направлениях и проблемах в развитии техники обработки и применении специфических фото процессов.

В связи с имеющимися исследованиями о возможности резкого повышения светочувствительности негативных фотоматериалов (см. выше) путем их форсированного проявления или применения специальных проявителей на повестку дня ставится вопрос: что выгоднее в практическом отношении (с точки зрения качества получаемого изображения, быстроты процесса и практических удобств) — более оптимальное проявление более мелкозернистых кинофото материалов или, наоборот, недопроявление более крупнозернистых кинофото материалов. Оба случая применяются в существующих процессах с достижением одинаковых показателей светочувствительности. Некоторые данные об этом указывают на то, что в отличие от существующей практики выгоднее применять более оптимальное проявление более мелкозернистых материалов [185].

Развитие указанного тезиса приводит к альтернативе, что выгоднее применять разные негативные материалы с проявлением их в одном и том же (универсальном) проявителе (это существует в настоящее время) или, наоборот, использовать один и тот же негативный материал (можно и несколько), но проявлять его в каждом конкретном процессе до требуемых показателей светочувствительности и других характеристик. Последнее является практически более выгодным и представляется реальным в случае применения способа обработки путем нанесения на проявляемый материал разных оптимальных проявителей при условии разработки для этого новых технических средств [186]. Для текущей и массовой печати кинофильмов наиболее рациональным представляется применение автоматических технологических линий, включающих копировальный аппарат, малогабаритное проявочное устройство и проекционный аппарат (или считывающее устройство) для контроля получаемых фильмокопий [185].

Можно предполагать, что в недалеком будущем могут быть разработаны специальные фототелевизионные процессы со считыванием фотолитически образующегося серебра (скрытого изображения) перед визуализацией изображения на экране или передачей его на расстояние. На это указывают проведенное в последнее время математическое моделирование процесса фотолитического образования серебра с изысканием новых возможностей применения фотографических (фототелевизионных) процессов [186] и исследования полученных изображений на специфических фотоматериалах со световым проявлением.

В какой мере вышеизложенное может быть доступно для практического осуществления, естественно, покажут дальнейшие исследования и разработки в рассматриваемой области.

Подводя итоги вышеизложенному, весьма сжато общему обзору, можно сделать вывод, что отечественные исследования и разработки в области обработки различных кинофото материалов охватывают по существу все ее основные разделы. Выполненные работы не только дали возможность более детально изучить исследованные сложные процессы и их отдельные стадии, но и позволили создать в нашей стране современную высоко механизированную и автоматизированную технологию обработки различных кинофото материалов в промышленных процессах. В соответствии с этим можно считать, что приведенные в настоящем обзоре данные и библиографические сведения могут представлять не только об-

щий, но и практический интерес при определении направлений дальнейшего развития и совершенствования рассматриваемой сложной и важной области кинофототехники.

Некоторые вопросы обработки фотокиноматериалов

Качество изображения

Промышленное применение фотографии во многих случаях требует использования ряда промежуточных изображений, предшествующих окончательному. В художественной кинематографии их количество, например, колеблется от двух до семи.

Как правило, каждое последующее изображение качеством уступает предыдущему; его зернистость выше, резкость ниже, тоновоспроизведение и передача малых по величине деталей хуже. Если заданы требования к конечному изображению и известны значения перечисленных критериев качества в первом, то нужно сформулировать требования к пленкам, копировальным, съемочным и проекционным аппаратам, объективам, процессам химико-фотографической обработки и к другим элементам передающего канала, а также определить предельное количество промежуточных изображений. Если это количество задано и известны характеристики элементов канала, то можно рассчитать характеристики конечного изображения и установить, какой из элементов канала играет наибольшую роль и нуждается в улучшении.

Подобные расчеты необходимы фотоаграфической технике вообще и технике химико-фотографической обработки в частности. Они полностью отсутствовали до настоящего времени. В последние годы в нашей стране были разработаны методы расчета разрешения малых по величине деталей, резкости и тоновоспроизведения [158—160]. Их использование позволит определять требования к процессам обработки с позиций качества изображения.

При использовании этих методов следует иметь в виду, что требуемая точность измерений невелика, а их количество огромно, так как многие характеристики элементов канала могут быть оценены только среднестатистическими величинами. К таким характеристикам относятся: разрешающая сила и резкость объективов и копировальных аппаратов; зернистость, резкость, разрешающая сила и эффективность почернений в изображениях на пленках, а следовательно и характеристики негативов, и т. д.

Расчеты химико-технологических процессов

Создавая технологический проект машины, группы машин, установки и т. п., необходимо иметь возможность рассчитать ее основные характеристики заранее. До 50-х годов такой возможности не было и проектирование велось на основе традиций или опыта. Судить о результате можно было только тогда, когда начиналась эксплуатация, т. е. когда менять что-либо было уже поздно.

Был создан и внедрен в практику работы наших лабораторий, студий и копировальных фабрик аппарат, позволяющий рассчитывать установившееся и неустойчивое состояние в однореакторных, проточных и противоточных системах [52—54, 57, 61, 129].

Расчетные выражения были найдены из уравнений баланса рассчитываемого вещества.

Так, например, для противоточной системы с установившимся состоянием в n реакторах были составлены n алгебраических уравнений с n неизвестными. Совместное их решение привело к расчетным формулам для этого случая.

Аналогично были получены формулы для других случаев. Ниже приводятся основные расчетные формулы, области их применения и полученные результаты.

Установившееся состояние в одном реакторе. Обозначим: k — установившаяся концентрация вещества в реакторе; b — количество подаваемого наполнителя на единицу количества продукции; c — концентрация протекающие в реакторе.

Простое выражение (1)

$$k = c \pm \frac{a}{b} \quad (1)$$

связывает эти величины и позволяет находить установившуюся концентрацию вещества в растворе k , необходимую концентрацию его в наполнителе c ; количество наполнителя на единицу количества продукции b и соответствующие допуски; количество вещества, расходуемого на полезные и бесполезные реакции в данной системе «з», а также общий расход вещества при проведении процесса.

Эти расчеты были использованы для создания экономичных и неизменных во времени процессов проявления цветных и черно-белых пленок на копировальных фабриках и отчасти на студиях. Они позволили проводить проявление и получать постоянные воспроизводимые результаты при концентрациях проявляющих веществ, меньших 1 г/л, и выдерживать допуски, близкие 10^{-2} г/л. Появилась возможность безошибочно находить наиболее экономичный режим использования проявителя. В настоящее время в нашей стране расход гидрохинона на проявление массовых кино-позитивов составляет 40—50 г/1000 м, фенидона — 5—6 г/1000 м и диэтилпарафенилендиамина около 80—100 г/1000 м,* т. е. в 2—3 раза меньше, чем в кинематографии США, Англии, Франции.

Неустойчивое состояние в одном реакторе. Если использовать приведенные выше обозначения и обозначить: v — объем раствора в системе; t — время работы системы; a — начальная концентрация; x — концентрация в некоторый момент времени, то нетрудно вывести формулу, связывающую эти величины:

$$x = k - (k - a)e^{-kt/v} \quad (2)$$

Это уравнение используют в случаях, когда установившаяся концентрация k недостижима. Значение k вычисляют с помощью уравнения (2), а затем с помощью выражения (1) находят значение c , обеспечивающее неизменность значения a во времени.

Выражение (2) позволяет находить все величины, упомянутые в предыдущем случае, а также необходимый объем системы, время достижения заданной концентрации раствора и др.

Установившееся состояние в противоточной системе. Путем составления и совместного решения n алгебраических уравнений были получены формулы (типа 3) для расчета n реакторов противоточных систем [52, 57, 129].

$$k_i = \frac{(1 - \omega^{n+1-i}) \omega^i}{1 - \omega^{n+1}} \left\{ C + \frac{[1 - (i+1)\omega^i - i\omega^{i+1}] a}{\beta \omega^i (1 - \omega)^2} \right\} + \frac{\omega^i (1 - \omega^i)}{1 - \omega^{n+1}} \left\{ a_i + \frac{a [(i-1)(1-\omega) - \omega^{n+1-i} (1 - \omega^{i-1})]}{\beta (1 - \omega)^2} \right\}, \quad (3)$$

где β — скорость противотока; $\omega = b/\beta$; a — концентрация вещества в растворе, подаваемом в n -й бак.

* В проточных проявочных системах расход еще меньше.

В выражении (3) величины, использованные ранее, связаны с другими, характеризующими для противоточной системы [129].

Формулы типа (3) были использованы для создания экономичных и технологически целесообразных процессов фиксирования, промывания и обесцвечивания на копировальных фабриках и студиях СССР.

В настоящее время расход гипосульфита на фиксирование черно-белой позитивной киноплёнки близок к 1 кг, а воды на ее промывание — к 400—1000 л/1000м продукции. Эти цифры в несколько раз меньше существовавших в вышней промышленности ранее и существующих ныне в зарубежной кинематографии.

Создание целесообразного процесса противоточного фиксирования в известной мере определялось распределением концентраций серебра по бакам системы и его последующим извлечением. Эта разработка привела к существенному росту количества серебра, извлекаемого из отработанных фиксажных растворов. Если в 1950 г. регенерировали около 48% от наноса, то сейчас процент регенерации возрос до 60%.

Таким образом, создание расчетных методов технологии обработки кинофотоматериалов сыграло огромную роль в ее развитии и привело к повышению качества и стандартности обработки, а также к существенному снижению ее стоимости. Однако эту разработку следует развивать в направлении усовершенствования самих расчетных методов и расширения их практического применения.

Во-первых, следует уточнить и расширить существующие методы. При выводе расчетных формул были использованы некоторые упрощающие предположения, которые сделали эти формулы менее точными. В настоящее время возможность применения вычислительных машин позволяет использовать более сложные формулы и трудоемкие расчеты. Так, например, могут быть использованы расчеты неустановившегося состояния в противоточной системе, практически невозможные ранее из-за большого объема вычислительной работы.

Во-вторых, следует увеличить число специалистов, умеющих пользоваться расчетными методами, с тем, чтобы на каждом предприятии, обрабатывающем киноплёнку, был хотя бы один такой специалист. В настоящее время число их крайне ограничено и это затрудняет введение необходимых поправок в режим обработки на изменяющиеся условия.

Кроме того, опыт использования расчетных методов в кинотехнике убедительно показал их полезность для других областей химической технологии; следует рекомендовать их использование в этих областях.

Типы проявления

Еще несколько лет назад считалось, что почти все свойства изображения — плотность, контрастность, четкость и другие — определяются в основном фотоматериалом и лишь в очень небольшой степени — обработкой. В последние годы это положение пересматривается. Оказалось, что предельный контраст, четкость в больших и малых частотах, достигаемые плотности в большой мере зависят от обработки. Мы приведем два примера этого.

В зависимости от кинетики процесса проявление может приводить к различным результатам.

Выравнивающее проявление. Исследовано в работах С. Г. Богданова и Н. В. Поляковой [67, 68]. Установлена зависимость эффекта выравнивания от кислотно-основной и отчасти окислительно-восстановительной буферности проявителя. Исчерпывающее исследование кислотно-основной буферности создало тенденцию считать эту буферность ответственной за выравнивающее действие.

В действительности же эффект выравнивания обусловлен также забуференностью проявителя по растворимому бромиду и в некоторых случаях по сульфиту. Кроме того, он связан с зависимостью скорости восстановительного процесса от pH, pBr, концентрации сульфита, и, наконец, выравнивающее действие зависит от кинетики проявления в различно экспонированных участках слоя — чем ближе она к диффузионной в участках, получивших большие экспозиции, тем больше эффект выравнивания. Эффект выравнивания поэтому возрастает с повышением pH проявителя, увеличением толщины фотографического слоя и температуры.

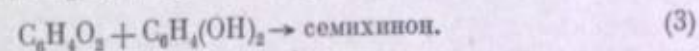
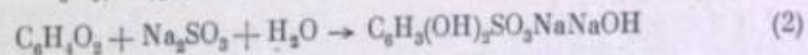
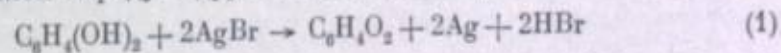
Выравнивающее проявление широко используют в кинематографии и фотографии в тех случаях, когда интервал объекта съемки велик (например, натурные съемки).

Использование выравнивающих проявителей обычно связано с большим расходом проявителя, обусловленным низкой концентрацией растворимого бромида. Повышение ее вызовет увеличение бромидной буферности. Снижение расхода проявителя возможно при использовании восстановителей, слабо реагирующих на концентрацию бромида (фенидов), когда бромидная буферность неактуальна, а также при извлечении ионов брома из проявителя.

Контрастное проявление. Может быть достигнуто замедлением процесса в слабо экспонированных участках слоя (например, органическими стабилизаторами). Сенситометрический результат этого показан на рисунке (кривая 2). Возрастание контраста невелико и составляет 30—100%.

Другой способ повышения контраста основан на том, что проявление слабо экспонированных участков идет так же, как и в контрольном снимке, но проявление участков слоя, получивших большие экспозиции, протекает очень быстро и сопровождается неизбежным восстановлением всего AgHal в слое (кривая 3).

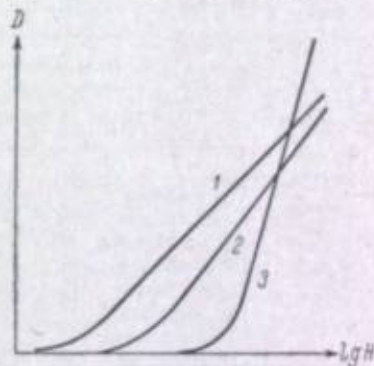
Механизм процесса, по-видимому, таков: при проявлении гидрохиноновым проявителем наряду с другими реакциями протекают и следующие:



Обычное проявление гидрохиноновым проявителем идет по схемам (1) и (2). Реакция (3) идет, но выход ее очень мал. Возникающий в ней семихинон является неизбежным восстановителем. Вероятно, он приводит к некоторому возрастанию D , наблюдающемуся в таких проявителях.

Однако, если создать условия, при которых реакция (3) станет играть главную роль, то пойдет автокаталитическое неизбежное восстановление AgHal. В присутствии сульфита главная роль принадлежит реакции (2). Можно выбрать концентрация сульфита и гидрохинона такими, что при достаточно большой экспозиции сульфит будет связан хиноном и пойдет реакция (3).

Этот принцип использован в процессах с материалами lith западных фирм («Kodalith», «Agfalith» и т. д.).



Характеристические кривые изображений, полученных обычным (1), контрастным (2) и высококонтрастным (3) проявлением.

У нас данный принцип использован для создания контрастных проявителей для фотослоев обычного типа. На многих кино- и аэропленках получены значения $\gamma=10-30$.

Обработка цветных многослойных пленок

Эти процессы стали использоваться у нас в послевоенные годы. Рост выпуска цветных фильмов тормозился недостаточной производительностью лабораторий массовой и текущей печати. Эта проблема была решена созданием ускоренного процесса обработки цветных многослойных пленок [112, 115]. В табл. 1 он приведен вместе с самым коротким (из использовавшихся до его создания) единым процессом.

Таблица 1

Процессы обработки цветных многослойных материалов

Единый процесс		Ускоренный процесс	
операция	время, мин.	операция	время, мин.
Проявление	9—11	Проявление	9—11
Промывание	1	Промывание	1
Фиксирование	10—15	Фиксирование	10—12
Промывание	6—12	Ослабление	3—5
Отбеливание	3—5	Промывание	12—15
Промывание	3—5		
Фиксирование	5—6		
Промывание	15—20	Всего	35—44
Всего	52—75		

Большое сокращение продолжительности обработки позволило увеличить производительность проявочного оборудования и обеспечить программу выпуска цветных фильмов. Существенное значение имело и то обстоятельство, что ускоренный процесс оказался очень маневренным и легко допускал перевод проявочных машин с обработки цветных пленок на обработку черно-белых. Он был оставлен, когда мощность наших кинокопиральных фабрик достигла уровня, обеспечивающего потребности кинематографии.

В настоящее время мы имеем ряд процессов обработки многослойных пленок, удовлетворяющих профессиональную кинематографию.

К ним относятся процессы обработки пленок с внутренним маскированием, перемещенными слоями, черным контрслоем, для контрастирования, обрабатываемых и т. д.

Существенным недостатком цветных фильмов, выпускаемых нашими предприятиями, является недостаточная стандартность продукции. Это в основном связано с неоднородностью пленки. Действительно, партия пленки в 100 000—300 000 м требует 5—15 различных форфильтров и расходуется за одни сутки. Это означает, что в течение суток предприятие работает на 5—15 пленках, использующихся в различных режимах.

Быстрая обработка

За последние годы в нашей стране возрастает применение ускоренных и быстрых процессов, и в том числе с односторонней обработкой. Объясняется это простотой данных процессов, постоянством результатов без

использования сложных систем циркуляции растворов, трудоемких методов химического и фотографического контроля. Указанные процессы начали развиваться в нашей стране относительно недавно. Тем не менее в настоящее время мы уже имеем ряд весьма быстрых процессов, отвечающих различным задачам. Так, например, существует метод фиксирования, завершаемого за 1—2 сек., не требующий последующего промывания и сушки, обеспечивающий получение изображения высокого качества, сохраняющегося годы.

Имеются интересные методы односторонней обработки пленок в кинематографии и других областях, где требуется быстрое получение результатов (например, обработка при съемке обратной стороны Луны).

Однованная обработка

Проявление и фиксирование в одном растворе известно уже 80 лет. Сначала этот процесс рассматривали как любопытный парадокс. Затем возникло представление о возможности его практического применения в весьма ограниченных целях. Эта ограниченность была обусловлена его медленностью, большим уменьшением чувствительности фотоматериала и его предельной контрастности, а также ухудшением качества изображения.

Действительно, в известной мере процессы проявления и фиксирования являются взаимоисключающими и, будучи доведенными до конца, приводят к противоположным результатам. Так, например, введение растворителя $AgHal$ в проявитель приводит к связыванию ионов серебра в малодиссоциированные комплексы и уменьшению концентрации ионов серебра в растворе на несколько порядков. Это сильно уменьшает потенциал серебряной системы и разность потенциалов ($\Delta E = E_{Ag} - E_{Red}$), что, вероятно, и является причиной замедления проявления с тиосульфатом. С другой стороны, увеличивается во много раз концентрация растворенного серебра и это приводит к увеличению роли физического проявления и уменьшению кроющей способности возникающих почернений. Экспериментально показано, что почернения, возникшие в однованном процессе, содержат больше восстановленного серебра, но имеют меньшие плотности, чем почернения, полученные обычным проявлением. Это обстоятельство способно объяснить понижение контрастности и плотности изображения, а также понижение светочувствительности.

Возрастание роли физического проявления объясняет также и усиленное вуалеобразование.

Можно было бы привести и другие примеры антагонистичности проявления и фиксирования.

За короткое время, в течение которого в нашей стране ведется работа в данном направлении, удалось избавиться от большей части перечисленных недостатков. Процесс идет быстро; контрастность, плотности, вуаль и другие свойства изображения, полученного в однованном процессе, мало отличаются от получаемых в обычном процессе.

Этого удалось достичь, создав выгодную кинетику процесса, т. е. разделив во времени процессы проявления и фиксирования. Проявитель проникает в слой гораздо быстрее, чем растворитель, и, таким образом, к тому времени, когда последний проник в слой на данную глубину, проявление на ней уже закончено.

Это позволило создать процессы однованной обработки длительностью от 3 до 20 сек., дающие высококачественное изображение и не приводящие к снижению чувствительности фотографического слоя. Для их реализации созданы весьма малогабаритные и простые устройства. Ведется работа по распространению этих методов и на художественную кинематографию.

Прямоточное проявление

В первые послевоенные годы наша кинематография испытывала недостаток проявляющих веществ. Необходимо было уменьшить их расход, что и было достигнуто использованием прямоточного проявления.

Как известно, только малая часть компонентов проявителя расходуется на полезные химические реакции, большая же часть уносится в баки промежуточной промывки и уходит в канализацию. Прямоточное проявление существенно уменьшает уносимую часть.

Для того чтобы проявление началось, необходима разность потенциалов между серебряной и восстановительной системами порядка 100 мв. Для продолжения же уже начавшегося проявления достаточно, чтобы $\Delta E \approx 3$ мв; в практике это означает, что начинать проявление следует в свежем проявителе, богатом проявляющими веществами. Заканчивать же можно в истощенном, где их концентрация понижена. Это достигается при прямоточном проявлении, когда проявляющий раствор движется в одном направлении с пленкой. Так, например, при проявлении черно-белых позитивных пленок содержание проявляющих веществ в первом баке, где проявление начинается, близко к 3 г/л. В третьем же баке, где оно кончается, проявитель содержит меньше 1,5 г/л проявляющих веществ. Таким образом, потери проявителя на унос в данном случае уменьшены в два раза.

Прямоточное проявление было использовано на двух крупных копировальных фабриках, Новосибирской и Киевской, для обработки черно-белых и цветных кинопозитивов. За прошедшие годы оно позволило сэкономить более 100 т метола, гидрохинона и диэтилпарафенилендиамина.

В настоящее время наша кинематография не испытывает недостатка в проявляющих веществах, но прямоточное проявление кинопозитивов продолжает использоваться.

Заключение

В направлении дальнейшей механизации и автоматизации процесса следует ожидать увеличения числа полностью автоматизированных участков производства. Сейчас таким участком является составление растворов. В дальнейшем весьма вероятно использование автоматизированных линий, включающих в себя печать, химико-фотографическую обработку и контроль.

В направлении развития техники химико-фотографической обработки можно ожидать еще более широкого использования в технологии быстрых процессов и фиксирующих проявителей. Сейчас быстрые процессы используются ограниченно. Это объясняется, вероятно, широко распространенным мнением, что ускорение обработки сопровождается снижением качества продукции. Это не совсем так, и можно ожидать широкого использования быстрой обработки, например в кинематографии. То же относится и к обработке пастами, использование которой может быть расширено.

В настоящее время в нашей стране начинает широко использоваться обработка фиксирующими проявителями. Создана рецептура, которая свела к минимуму понижение чувствительности и контрастности, а также весьма малогабаритные машины, производительностью 140 и 500 м/час. Имеется перспектива использования этого метода в кинематографии.

Предстоит большая работа по созданию рациональных схем производства с учетом требований к качеству конечного изображения и характеристик производственного оборудования и материалов. Наряду с этим необходимо установить требования к ним, исходя из данной схемы процесса. То и другое должно привести к повышению и регламентированию качества конечного изображения.

В настоящее время обработка фотоматериалов является одним из самых расточительных процессов. Так, например, в экономичных вариантах обычного процесса полезный расход проявляющих веществ составляет $\approx 2-40\%$ общего; растворителей $\approx 30\%$; окислителей $\approx 20-40\%$ (табл. 2).

Таблица 2

Расход веществ в процессах обработки

Процесс	Вещество	Общий расход, г/1000 м	Бесполезный расход, в % от общего
Проявление черно-белых негативных пленок	Проявляющее вещество	400—600	97—99
То же, прямоточное	То же	200—300	94—97
Проявление черно-белых позитивных пленок	» »	60—70	60—70
То же, прямоточное	» »	40	50
Отбеливание многослойных позитивных пленок.	Железо-синеродистый калий	600—800	90—95
То же, негативных	То же	700—1500	94—98
Фиксирование черно-белых позитивных пленок	Тиосульфат натрия	700—1000	65—75

Высокий расход химикатов обусловлен тем, что унос этих веществ обрабатываемым материалом значительно больше их расхода на полезные реакции. Это допустимо, так как конечная продукция дорога и химикаты составляют относительно небольшую часть ее стоимости. Однако неоправданный их расход крайне нежелателен.

Наиболее простым способом экономии химикатов является уменьшение уноса раствора из системы, а следовательно и количества подаваемого попутителя. Уменьшение его ограничивается накоплением в растворе веществ, образующихся в данном процессе. Поэтому извлечение подобных веществ является актуальным.

Расход может быть также снижен регенерацией растворов и использованием новых приемов обработки.

Необходимо проектировать новые методы получения изображения и обработки фотоматериалов, например не связанные с использованием больших объемов обрабатываемых растворов или вообще не связанные с их использованием.

Существенное отставание наблюдается у нас в технике обработки материалов любительской и профессиональной фотографии. Необходимо обратить внимание на эти важные области применения фотографии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Е. Н. Геллер, Техн. кино и телевид., 1967, 11, 11—14.
- [2] Я. П. Цукерман, Техн. кино и телевид., 1967, 11, 15—18.
- [3] С. А. Бонгард, Техн. кино и телевид., 1967, 10, 23—29.
- [4] Я. Е. Златкин, М. Д. Капшин, Г. П. Левчук, А. П. Лобанов, В. Я. Михайлов, в сб.: 50 лет советской геодезии и картографии, изд. «Недра», М.—Л., 1967, стр. 164—200.
- [5] Н. А. Шилов, К теории фотографического проявителя. М., 1914.
- [6] Я. М. Катусев, К теории фотографического проявителя. М., 1915.
- [7] К. В. Чибисов, Фотограф, 1928, № 1—2, 29—38; № 3—4, 77—78; № 5—6, 152—158; Kinotechnik, 1929, 11, № 9.
- [8] К. В. Чибисов, В. С. Чельцов, Фотограф, № 7—8, 242—220; № 9—10, 281—288; Kinotechnik, 1929, 11, № 12 и 14.
- [9] К. В. Чибисов, Е. Р. Гоппе, Фотограф, 1929, № 8, 237—242; № 9—10, 258—262; Kinotechnik, 1930, 12, № 15; Berichte VIII Intern. Kongr. Phot., Dresden, 1931, 189—192; Тез. 1-й Всес. конф. по научной фотографии (24—29 ноября 1932 г.), Л., 1932.

- [10] Н. В. Чибриков, В. С. Чельцов, Ж. В. Крашенинникова, А. А. Мислякова, *Фотохимия*, 1930, вып. 3, 194—195.
- [11] Н. В. Чибриков, *Теория фотографических процессов*, т. I, кн. 3, Кинофотоиздат, М., 1935.
- [12] В. И. Шеберстов, И. И. Букин, *Кинофотохимия*, 1932, № 1, 116—122.
- [13] В. И. Шеберстов, И. И. Букин, *Сб. работ НИКФИ*, 1932, 19—26.
- [14] В. И. Шеберстов, *Кинофотохимия*, 1932, № 2, 148—153.
- [15] В. И. Шеберстов, *Фотохимия*, 1933, № 3, 29—33.
- [16] В. И. Шеберстов, *Тр. НИКФИ*, 1934, 2, 194—206.
- [17] В. И. Шеберстов, *Химия промывочной и проявочной*, Госкиноиздат, 1934.
- [18] Н. И. Кириллов, *Фотохимия*, 1935, № 2, 66—68; 1935, № 4, 70—80; № 1—2, 90—95; № 4, 76—78; № 6, 57—62.
- [19] Н. И. Кириллов, П. Н. Крейцберг-Федорович, Б. С. Молодцова, *Фотохимия*, 1935, № 4, 77—80; № 6, 76—79.
- [20] Н. И. Кириллов, *Химические вещества для обработки фотопленки*, Изд. «Искусство», М., 1937.
- [21] С. М. Антонов, К. И. Мархилевич, И. Р. Вербницкая, *Сов. кинофотохимия*, 1935, № 5, 46—50.
- [22] К. И. Мархилевич, *Сов. кинофотохимия*, 1936, № 10, 34—39.
- [23] К. И. Мархилевич, *Сов. кинофотохимия*, 1936, № 2, 39—46.
- [24] Е. А. Шофис, *Кинофотохимия*, 1938, № 6, 50.
- [25] П. В. Прохоровский, *Кинофотохимия*, 1940, № 2, 57—58.
- [26] Н. М. Зюскин, Е. К. Острицкая, *Кинофотохимия*, 1940, № 1, 54—56.
- [27] Н. И. Кириллов, Н. Е. Кириллова, Я. Д. Каценеленблат, Г. В. Прохоровский и др.; Н. И. Кириллов, *Химический контроль в процессе проявления*, Госкиноиздат, М., 1945, стр. 75—77.
- [28] К. И. Мархилевич, С. А. Базуркина, И. Р. Вербницкая, Ю. П. Чибриков, *Сов. кинофотохимия*, 1936, № 3, 48—52.
- [29] К. И. Мархилевич, *Кинофотохимия*, 1937, № 11, 53—58.
- [30] К. И. Мархилевич, *Кинофотохимия*, 1939, № 4, 27—30.
- [31] Ю. И. Букин, *Кинофотохимия*, 1939, № 7, 40—44.
- [32] С. М. Антонов, *Кинофотохимия*, 1939, № 9, 39—45.
- [33] С. М. Антонов, К. И. Мархилевич, И. Р. Вербницкая, *Сов. кинофотохимия*, 1935, № 3, 47—55.
- [34] Е. А. Шофис, *Фотохимия*, 1939, № 5, 46—47.
- [35] Н. И. Кириллов, *Кинофотохимия*, 1940, № 2, 49—56.
- [36] Н. И. Кириллов, *Кинофотохимия*, 1941, № 4, 85—98.
- [37] С. М. Антонов, *Сов. кинофотохимия*, 1935, № 3, 34—40.
- [38] И. П. Цукерман, *Кинофотохимия*, 1939, № 8.
- [39] В. Е. Билибин, А. О. Симанчук, *Кинофотохимия*, 1939, № 3, 34—35.
- [40] С. Г. Богданов, *Кинофотохимия*, 1939, № 7, 50—54.
- [41] С. Г. Богданов, А. О. Симанчук, *Кинофотохимия*, 1939, № 4, 43—44.
- [42] Н. И. Кириллов, *Кинофотохимия*, 1939, № 11—12, 97—99.
- [43] А. С. Хейман, *Кинофотохимия*, 1940, № 9, 58—61.
- [44] Ю. И. Букин, *Фотохимия*, 1934, № 3, 16—23.
- [45] С. М. Антонов, Н. Е. Гольцева, *Кинофотохимия*, 1937, № 7, 67—75.
- [46] Ю. И. Букин, *Усп. науч. фотогр.*, 1960, VII, 219—230.
- [47] Т. С. Баранов, *Кинофотохимия*, 1939, № 4, 40—42.
- [48] С. М. Антонов, *Сов. кинофотохимия*, 1936, № 5, 42—47.
- [49] В. А. Вейденбах, *Кинофотохимия*, 1940, № 2, 44—49.
- [50] Н. И. Кириллов, *ЖПХ*, 1940, 12, 978—1002; 18, 371—404; *Кинофотохимия*, 1940, № 4, 46—55.
- [51] Н. И. Кириллов, *Тр. НИКФИ*, 1947, 8, 108—116.
- [52] А. Б. Гур-Мильнер, *Тр. ЛИКИ*, 1949, 2, 99—111.
- [53] И. Б. Блюмберг, *Тр. ЛИКИ*, 1949, 2, 90—98.
- [54] И. Б. Блюмберг, Т. А. Новацкая, *Усп. науч. фотогр.*, 1955, IV, 263—268.
- [55] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, *Тр. ЛИКИ*, 1955, 3, 202—206.
- [56] И. Б. Блюмберг, Г. В. Булочникова, Н. И. Солодовникова, *ЖПХ*, 1957, 30, 1016—1021.
- [57] Н. И. Кириллов, *Тр. НИКФИ*, 1957, 10 (20), 94—117; *Ergebniss der Intern. Conf. wiss. Phot. (Köln, 1956)*, Darmstadt, 1958, 444—455.
- [58] Н. И. Кириллов, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1965, 10, 351—353; *J. Phot. Sci.*, 1968, 16, № 3, 175—178.
- [59] Н. И. Кириллов, *Химический контроль в процессе проявления*, Госкиноиздат, М., 1945.
- [60] Н. И. Кириллов, *Фиксирование и промывка фотографических материалов*, Госкиноиздат, М., 1948.
- [61] Н. И. Кириллов, *Теория непрерывных процессов обработки светочувствительных материалов*, Госкиноиздат, М., 1948.
- [62] Г. С. Баранов, *Вопросы теории фотографического воспроизведения*, Госкиноиздат, М., 1949.
- [63] И. Б. Блюмберг, *Химико-фотографические процессы обработки киноплёнки*, Госкиноиздат, М., 1949.
- [64] И. Б. Блюмберг, *Обработка кинофотоплёнок*, Госкиноиздат, М., 1950.
- [65] С. М. Антонов, В. Л. Зеликман, К. И. Мархилевич, *Киноплёнка и ее обработка*, Госкиноиздат, М., 1960.
- [66] Д. М. Золотницкий, *Контроль процессов обработки киноплёнки*, Изд. «Искусство», М., 1967.
- [67] С. Г. Богданов, Н. В. Полякова, *Усп. науч. фотогр.*, 1955, IV, 202—209.
- [68] С. Г. Богданов, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1961, 6, 117—124.
- [69] С. М. Антонов, Г. Г. Двигубский, *Техн. кино и телевид.*, 1958, 11, 41.
- [70] Н. М. Зюскин, Е. Ю. Брайчевская, *Криминалистика и судебная экспертиза*, 1967, IV, 253—259; *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1968, 13, 92—95.
- [71] В. Д. Руль, О. А. Букина, А. В. Борин, Н. С. Гафурова, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1967, 12, 329—330.
- [72] Р. В. Димитров, Ю. Ф. Гринь, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1964, 9, 254.
- [73] Л. В. Красный-Адмони, *Усп. науч. фотогр.*, 1967, XIII, 174—180.
- [74] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, З. В. Бабенкова, *Усп. науч. фотогр.*, 1967, XIII, 181—185.
- [75] Б. Б. Беркенгейм, Т. Н. Байкалова, Е. А. Коробова, Э. Я. Пашишман, *Усп. науч. фотогр.*, 1967, XIII, 186—189.
- [76] В. И. Шеберстов, *Усп. науч. фотогр.*, 1955, IV, 210—231.
- [77] В. Я. Михайлов, *Тр. ЦНИИГАиК*, 1955, вып. 107, 79—94.
- [78] В. Л. Абриталя, К. И. Мархилевич, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1961, 6, 256—259.
- [79] Г. А. Истомин, В. И. Шеберстов, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1958, 3, 450—452.
- [80] К. И. Мархилевич, В. Л. Абриталя, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1959, 4, 433—437.
- [81] В. И. Шеберстов, Б. А. Шашлов, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1958, 3, № 1, 42—46.
- [82] Г. П. Фаерман, *Усп. науч. фотогр.*, 1967, XIII, 142—150.
- [83] В. Л. Зеликман, В. А. Дмитриева, *Тр. Лабор. аэрометодов*, 1959, вып. VII, 45—47.
- [84] К. И. Мархилевич, Ц. С. Ариольд, В. Л. Абриталя, *Тр. НИКФИ*, 1960, 35, 125—136.
- [85] В. И. Шеберстов, Т. Г. Овечкина, *Ж. науч. и прикл. фотогр.*, 1967, 12, 364—366.
- [86] Б. В. Валуцкий, *Техн. кино и телевид.*, 1960, 5, 44—51; 1958, 10, 36—46.
- [87] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, Л. И. Карпова, Т. А. Новацкая, Г. Г. Новикова, *Техн. кино и телевид.*, 1960, 11, 14—19.
- [88] И. Б. Блюмберг, *Тр. ЛИКИ*, 1967, 12, 69—77.
- [89] Н. Г. Масленкова, Н. И. Кириллов, *Техн. кино и телевид.*, 1967, 3, 61—67; *Тр. НИКФИ*, 1957, 5 (15), 27—35.
- [90] С. М. Леви, Н. Г. Масленкова, Н. И. Кириллов, *Техн. кино и телевид.*, 1959, 12, 18—25.
- [91] А. Вжесинский, Н. И. Кириллов, *Усп. науч. фотогр.*, 1962, VIII, 79—87.
- [92] П. И. Левина, В. А. Вейденбах, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1960, 5, 20—22; 241—246, 334—342; 1961, 6, 164—170; 1964, 9, 171—174.
- [93] И. Б. Блюмберг, Р. В. Димитров, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1963, 8, 161—165.
- [94] И. Б. Блюмберг, Р. В. Димитров, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1964, 9, 405—411.
- [95] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, Р. В. Димитров, *Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 1967, 12, 89—96, 145—146.
- [96] М. Е. Архангельский, С. И. Недужий, *Усп. науч. фотогр.*, 1967, XIII, 257—265.
- [97] О. Я. Митрясов, Г. П. Фаерман, Л. С. Шмелькин, *Усп. науч. фотогр.*, 1967, XIII, 269—274.
- [98] Н. И. Кириллов, М. Ю. Дебердеев, Н. Е. Кириллова, *Техн. кино и телевид.*, 1963, 1, 38—47.

- [99] С. М. Антонов, К. С. Богомолов, Н. И. Кириллов, Н. С. Овечкис, В. И. Успенский, в сб.: Искусственные спутники Земли, Изд. АН СССР, М.—Л., 1961, вып. 9, 20—29.
- [100] Г. М. Алешин, Тр. НИИП, 1968, вып. 95—110.
- [101] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. С. Крашенинникова, С. А. Бонгард, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 48—55.
- [102] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 125—129.
- [103] В. А. Вейденбах, Е. А. Карпович, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 56—62.
- [104] Ю. Н. Гороховский, А. И. Коюнчина-Ликсно, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, I, 23—28.
- [105] Н. И. Кириллов, Л. П. Лисенко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 84—89.
- [106] Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 72—78.
- [107] Н. И. Кириллов, Н. Е. Кириллова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 39—41.
- [108] А. Вжесинский, Н. И. Кириллов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 5—19.
- [109] С. М. Антонов, Г. Г. Двигубский, Техн. кино и телевид., 1957, 3, 17—25.
- [110] Ц. С. Арнольд, Л. П. Крылов, Техн. кино и телевид., 1961, 3, 13—19.
- [111] Ц. С. Арнольд, Р. Б. Журин, В. Н. Ивинна, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 100—108.
- [112] Н. И. Кириллов, С. М. Антонов, Г. С. Повх, Н. Е. Кириллова, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 269—280.
- [113] В. Я. Михайлов, М. И. Цыганов, Тр. ЦНИИГАиК, 1955, вып. 107, 5—48.
- [114] В. Я. Михайлов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, I, 383—385.
- [115] Ц. С. Арнольд, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 182—190.
- [116] В. И. Успенский, С. М. Антонов, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 154—159.
- [117] Л. Ф. Артюши, Т. Н. Байкалова, Н. С. Овечкис, Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1959, I, 7.
- [118] Л. П. Крылов, Э. Н. Полянская, Техн. кино и телевид., 1968, 3, 12—15.
- [119] А. П. Стрельникова, Н. И. Кириллов, Техн. кино и телевид., 1957, 5, 49.
- [120] С. Е. Тихонович, Л. С. Севастьянова, Техн. кино и телевид., 1961, 10, 18.
- [121] А. П. Стрельникова, А. Е. Зискис, Техн. кино и телевид., 1967, 3, 18.
- [122] А. П. Стрельникова, Л. А. Козырева, Н. И. Кириллов, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 220—229.
- [123] А. Н. Иорданский, К. Л. Мерц, Н. С. Овечкис, В. С. Чельцов, Цветная фотография на трехслойных светочувствительных материалах. Под ред. К. В. Чибисова, Госкиноиздат, М., 1949.
- [124] Е. А. Иофис, Фотографическая обработка цветных кинофильмов. Госкиноиздат, М., 1950, 152.
- [125] Н. И. Кириллов, С. М. Антонов, Процессы цветной фотографии. Госкиноиздат, М., 1951.
- [126] В. Я. Михайлов, Фотографии и аэрофотографии. Геодезиздат, М., 1952.
- [127] Н. И. Кириллов, Основы процессов обработки светочувствительных материалов. Изд. «Искусство», М., 1954.
- [128] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Цветное проявление трехслойных светочувствительных материалов. Изд. «Искусство», М., 1958.
- [129] И. Б. Блюмберг, Технология обработки кинофотоматериалов. Изд. «Искусство», М., 1967.
- [130] В. Я. Михайлов, Аэрофотография и общие основы фотографии. Геодезиздат, М., 1959.
- [131] К. И. Мархилевич, В. И. Шеберстов, Н. И. Кириллов, Н. Г. Масленкова и др., в сб.: Современное развитие фотографических процессов, под ред. Н. И. Кириллова, изд. «Искусство», М., 1960.
- [132] Д. А. Сальский, И. П. Иванов, А. А. Хомяков, К. В. Чибисов, Д. Н. Тарасенко, Фотография и аэрофотография. Авиаиздат, Л., 1926.
- [133] В. Я. Михайлов, Сб. научн.-техн. и произв. статей ГУГК, 1949, вып. 25, 53—62.
- [134] В. Я. Михайлов, Сб. научн.-техн. и произв. статей ГУГК, 1949, вып. 24, 17—22.
- [135] В. Я. Михайлов, Тр. ЦНИИГАиК, 1951, вып. 82, 42—82.
- [136] В. Я. Михайлов, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 232—240.
- [137] К. И. Мархилевич, В. Л. Абриталяни, И. И. Пяткин, Тр. НИКФИ, 1960, 35, 110—116.
- [138] Н. П. Лаврова, В. Е. Александров, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 240—242.
- [139] М. П. Горина, Г. Г. Чурилин, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 236—239.
- [140] С. М. Антонов, Г. Г. Двигубский, Техн. кино и телевид., 1960, 4, 45.
- [141] М. М. Щедринский, Техн. кино и телевид., 1964, I, 10.
- [142] В. Л. Абриталяни, В. Л. Шевяков, Техн. кино и телевид., 1964, 9, 33.
- [143] В. Л. Абриталяни, Техн. кино и телевид., 1966, 2, 21.
- [144] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, Ф. С. Матисон, Т. А. Новацкая, Н. С. Почивалов, Тр. ЛИКИ, 1956, 4, 170—175.
- [145] С. М. Антонов, О. Ц. Антонова, Е. П. Савушкина, Тр. НИКФИ, 1957, 5 (15), 24—26.
- [146] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 132—140.
- [147] С. М. Антонов, Г. Г. Двигубский, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 207—212.
- [148] Л. П. Крылов, Л. М. Грейдингер, Техн. кино и телевид., 1964, 7, 7—12.
- [149] Л. П. Крылов, Усп. научн. фотогр., 1967, XIII, 202—206.
- [150] Л. П. Крылов, Л. М. Грейдингер, Техн. кино и телевид., 1962, 6, 1—9.
- [151] Л. П. Крылов, Техн. кино и телевид., 1965, I, 36—47.
- [152] Н. Т. Трофименко, Б. А. Заборовский, Техн. кино и телевид., 1962, 3, 56—60.
- [153] С. С. Гилев, Л. В. Киселев, Техн. кино и телевид., 1959, № 8, 13—27.
- [154] Б. Н. Модестов, Техн. кино и телевид., 1963, № 9, 14.
- [155] Т. А. Новацкая, Г. Г. Новикова, Техн. кино и телевид., 1964, № 11, 55.
- [156] А. А. Баранцева, Ю. Н. Гороховский, Тр. ЛИКИ, 1967, 12, 55.
- [157] Г. А. Истомина, Техн. кино и телевид., 1965, № 2, 1.
- [158] В. Г. Комар, Усп. научн. фотогр., 1964, X, 79; Техн. кино и телевид., 1962, № 10, 1; 1963, № 3, 9.
- [159] И. Б. Блюмберг, Техн. кино и телевид., 1965, № 6, 40.
- [160] И. Б. Блюмберг, Т. М. Зязина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 340.
- [161] К. В. Вендровский, М. А. Айгори, И. Г. Миневич, Усп. научн. фотогр., 1964, XI, 171.
- [162] К. В. Вендровский, А. И. Вейцман, в сб.: Иконика, изд. «Наука», Л., 1968, стр. 97.
- [163] К. И. Мархилевич, Библиографические обзоры по качеству фотографических изображений. НИКФИ, Отд. научн.-техн. информ., 1965—1968.
- [164] М. Б. Халамейзер, С. А. Левитан, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2.
- [165] М. Б. Халамейзер, И. А. Мурей, Техн. кино и телевид., 1963, № 2, 27.
- [166] А. И. Калинин, Н. И. Снятков, Техн. кино и телевид., 1959, № 10, 1.
- [167] В. К. Милославов, Техн. кино и телевид., 1960, № 9, 11.
- [168] С. П. Бурда, Е. М. Хаймович, Техн. кино и телевид., 1962, № 7, 17—22.
- [169] Л. П. Ездакова, Л. Ю. Решилов, Р. М. Майстровой, Г. В. Александрович, С. А. Зак, Л. М. Повзнер, Техн. кино и телевид., 1964, № 9, 36.
- [170] И. С. Голод, Техн. кино и телевид., 1959, № 12, 32.
- [171] Л. С. Севастьянова, Техн. кино и телевид., 1962, № 6, 59.
- [172] В. М. Бондарчук, М. И. Закс, Техн. кино и телевид., 1968, № 6, 23.
- [173] Ф. А. Розенталь, Н. А. Виноградова, Ю. А. Болтунов, Техн. кино и телевид., 1966, № 2, 27.
- [174] А. П. Стрельникова, Н. И. Кириллов, Техн. кино и телевид., 1961, № 9, 31.
- [175] Т. А. Колесникова, Н. И. Староверова, А. П. Стрельникова, Техн. кино и телевид., 1966, № 5, 37.

- [176] Т. А. Колесникова, Л. П. Литвинова, Техн. кино и телевид., 1966, № 8, 48.
 [177] Ц. К. Норкус, И. С. Бержикайте, Д. А. Норкус, Г. П. Томашевич, Техн. кино и телевид., 1967, № 8, 20.
 [178] Г. П. Сееников, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 144.
 [179] В. М. Гороховский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 67.
 [180] И. С. Годод. Проявочные машины. Изд. «Искусство», М., 1956.
 [181] В. И. Лаврентьев. Техника обработки рулонных светочувствительных материалов. Оборонгиз, М., 1957.
 [182] И. М. Фридман. Эксплуатация кинофильмов. Изд. «Искусство», М., 1959.
 [183] Е. А. Иофис. Кинопленки и их обработка. Изд. «Искусство», М., 1964.
 [184] Н. И. Кириллов. Проблемы фотографии. Изд. «Искусство», М., 1965.
 [185] Н. И. Кириллов, В. Е. Александров, Н. Г. Масленкова, Е. М. Фельдшеров, Г. Г. Чурилин, Техн. кино и телевид. 1966, № 5, 22.
 [186] Н. И. Кириллов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр. (в печати).

Ю. Н. ГОРОХОВСКИЙ

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ МЕТРОЛОГИЯ

Определение дисциплины

Фотография как область знания и техники лежит на границе двух наук: оптики и фотохимии. Фотографическое изображение не может быть осуществлено без посредства изображения оптического, а последнее не может быть увековечено без применения фотохимических процессов. Эта неразрывная связь, сочетающаяся с применением чисто химических процессов, точной механики, электроники и т. п., ставит фотокинетехнику и научную фотографию в совершенно особое положение в отношении количественной оценки свойств фотографического изображения и свойств тех материальных средств, с помощью которых это изображение получается. Можно и должно говорить о существовании особого раздела *метрологии* — главы технической физики, посвященной учению о мерах и точных измерениях, который будет справедливо назвать *фотографической метрологией*.

Фотографическая метрология есть, таким образом, учение о мерах и точных измерениях в области фотографической техники и науки. Она родилась из *фотографической сенситометрии*, возникновение которой восходит к классическим работам Ф. Хертера и В. Дрифилда [1] начала последнего десятилетия XIX в., включив в себя в дальнейшем проблему тонкой структуры фотографического изображения (то, что раньше не очень удачно называли физикой проявленного изображения и что следовало бы, по-видимому, назвать *фотографической структурометрией*), количественные характеристики фотографического тоно- и цветовоспроизведения и в последнее время проблему информационной емкости фотографического изображения (информатику).

Содержание дисциплины

Предметом фотографической метрологии являются, с нашей точки зрения, следующие пять основных проблем.

Первая из этих проблем — *установление меры фотографической светочувствительности*. Последняя служит, с одной стороны, средством решения экспонетрической задачи при фотографировании, с другой — средством сравнения между собой светочувствительных слоев и приемов их химико-фотографической или иной последующей обработки.

Второй проблемой следует признать разработку способов возможно всесторонней и точной оценки собственных свойств фотографического материала как *приемника излучения* безотносительно к той цели, для которой этот приемник будет применен, изобразительной или регистрационной.

Третьей проблемой является разработка способов количественной оценки характера фотографического воспроизведения соотношения яркостей (а при цветном фотографировании — и соотношения цветов), которое существует в объекте фотографирования и в его оптическом изображении, наложенном на светочувствительный материал.

Четвертая проблема — количественная оценка тонкой структуры фотографического изображения, определяющей комфортность последнего (удобство, легкость рассматривания) и объем даваемой им информации сравнительно с информацией, содержащейся в самом объекте фотографирования и в его оптическом изображении.

Пятая проблема фотографической метрологии — осуществление инструментальных средств решения вышеперечисленных задач, как собственно сенситометрических, так и структурно-информационных.

С чисто научными и инженерно-техническими аспектами фотографической метрологии переплетаются вопросы законодательного документирования и организационного обеспечения правильного соблюдения измерительных норм в фотокинотехнике и обслуживающих ее отраслях промышленности. На такую двойственную природу метрологии — научно-техническую и административную — обращал внимание старейший деятель этой области М. Ф. Мадиков [2].

Советская система сенситометрии

На первое место по значению следует поставить обширную деятельность советских метрологов-сенситометристов по созданию советской системы сенситометрии и материальных средств ее осуществления.

К моменту начала этой деятельности всеобщее распространение имели сенситометрические испытания фотографических материалов по Хертеру и Дрифилду, в ряде отношений совершенно устаревшие. Существенным нововведением был первый в мире национальный сенситометрический стандарт, введенный в Германии в 1934 г. трудами и усилиями видных ученых Р. Лютера и Э. Гольдберга [3] и обозначенный ДИН 4512.

В декабре 1935 г. в Ленинграде в Государственном оптическом институте (ГОИ) по инициативе и под председательством профессоров Т. П. Кравца и К. В. Чибисова было проведено междуведомственное научное совещание, на котором были сформулированы основные положения советской системы сенситометрии [4]. В отличие от германского и всех последующих, вплоть до наших дней, национальных стандартов и постепенно формировавшихся из них сенситометрических систем (в США, Великобритании, Японии и других странах) советская система сенситометрии с самого начала была задумана и в основном реализована как совокупность взаимосвязанных методов всесторонних испытаний фотографических материалов на прозрачной подложке (в те времена, естественно, лишь черно-белых материалов).

В нашу систему входили:

а) *интегральная сенситометрия*, включающая в себя определение зависимости основных сенситометрических параметров от длительности проявления в надлежаще выбранных проявителях и нахождение в условиях соблюдения введенного в СССР понятия рекомендованного коэффициента контрастности величины числа светочувствительности, представляемого на упаковке материала и служащего для нахождения условий правильного экспонирования при съемке;

б) *спектральная сенситометрия*, дающая представление о спектральном ходе основных сенситометрических параметров;

в) *резольвометрия*, дающая первичное представление о способности фотографического материала воспроизводить мелкие элементы наложенного оптического изображения;

г) *гранулометрия*, позволяющая оценивать то вредное свойство, которое называется зернистостью; в настоящее время ее часто называют фотографическим шумом.

Первые три метода были реализованы аппаратно, а последний остался лишь в проекте и был иначе осуществлен вне стандартов много позже.

Большим коллективом сотрудников ГОИ* во второй половине 30-х — начале 40-х годов были разработаны соответствующие конкретные методы сенситометрических испытаний и образцы стандартной сенситометрической аппаратуры для проведения таких испытаний [5]. В военные годы были созданы государственные стандарты [6] и начато продолжающееся ныне серийное промышленное производство стандартизованных сенситометрических приборов — малогабаритного сенситометра ФСР-4 [7], визуального клинового денситометра ИФТ-11, фотоэлектрического клинового денситометра ДФЭ-10 [8], спектросенситометра для видимой и инфракрасной областей спектра [9] и некоторых других приспособлений.

Основной из перечисленных стандартов — ГОСТ 2817-45 — несколько раз перерабатывался; в последние годы из него был выделен ГОСТ 10691-63. Оба этих стандарта находятся на пороге кардинальной переработки в соответствии с принятым социалистическими странами (на специализированном совещании СЭВ в Праге в апреле 1967 г.) решением присоединиться к рекомендациям Международной организации по стандартизации (ИСО) по сенситометрии черно-белых полутонных материалов для общей фотографии [10], в разработке последней редакции которых ученые СССР принимали деятельное участие.

С широким распространением цветной фотографии и кинематографии на многослойных материалах с начала 50-х годов в НИКФИ и ГОИ развернулись исследования по сенситометрии цветофотографических материалов. Не касаясь подробно этих работ, поскольку они освещены на данном совещании [11], ограничимся указанием на выдающиеся исследования Н. Д. Ньюберга [12] и его учеников — Н. Ф. Семеновича и Л. Ф. Артюшина [13] по созданию совершенно оригинального метода *цветоделительных испытаний* многослойных материалов и цветофотографического процесса в целом и на разработку методов общесенситометрических испытаний этих материалов, завершившихся выпуском государственного стандарта [14] — первого в мире нормативного документа такого рода. Его созданием занимались сотрудники НИКФИ Г. С. Баранов, Л. К. Крупенин и др. Обобщение результатов разработок ГОИ в данной области содержится в выпущенной в 1960 г. монографии автора настоящего обзора [15а].

В НИКФИ в 50-х годах был создан специализированный комплект аппаратуры для стандартного испытания цветных фотоматериалов [16]: сенситометр ЦС-2 и несколько вариантов цветных денситометров прямого отсчета, наиболее интересным из которых явилась недавно выпущенная модель ЦД-ФЭУ [17]. Эти приборы, в разработке которых принимали участие В. И. Ананьев, Г. С. Баранов, В. И. Копейкин, Л. К. Крупенин, Н. С. Овечкис, К. С. Спасский и другие, выпускались небольшими сериями.

К настоящему времени сложилось общее мнение, что настало время создать в стране новый комплект сенситометрических приборов широкого применения — единый для черно-белых и цветных материалов, пригодный для испытания материалов на прозрачной и на непрозрачной подложке, для испытания материалов на прозрачной и на непрозрачной подложке, максимально автоматизированный и безотказно действующий в условиях массовой повседневной работы. Соответствующая приборостроительная

* Ф. Л. Бурмистров, Л. А. Вентман, Ю. Н. Гороховский, Г. И. Киреев, М. В. Савостьянова, И. А. Черный, при участии Г. П. Фаермана, С. С. Гилева и других, под общим идейным руководством проф. Т. П. Кравца.

работы надотен сейчас достаточно широки фронт. Разным образом должны быть унифицированы и государственные стандарты на методы сенситометрических испытаний.

Несмотря на то, что в последние десятилетия темпы дальнейшей разработки советской системы сенситометрии ослабели и были допущены некоторые методологические ошибки, в основном связанные с выбором способа оценки общей светочувствительности, и на то что за рубежом в тот же период был проведен ряд разработок, по нашему убеждению, советская система как целое остается наиболее законченным в мировом масштабе явлением фотографической метрологии. Дело части советских ученых — быстро, дружно и на высоком уровне существенно продвинуть дальше решение данной важной проблемы применительно к современному состоянию и задачам фотокинотехники.

Разработка новых методов классической сенситометрии

Много усилий было приложено к созданию специализированных методов сенситометрии в классическом понимании этого термина. Речь идет об оценке свойств светочувствительного слоя на таких достаточно больших участках последнего, когда эти свойства инвариантны по отношению к размерам экспонируемого и проявляемого поля.

В 30-х годах Ю. Н. Гороховским совместно с Е. Г. Валяшко и И. И. Брейдо [18] была разработана методика спектральной сенситометрии, позволявшая определять абсолютное спектральное распределение светочувствительности и спектральный ход коэффициента контрастности как в видимой и инфракрасной, так и в невакуумной ультрафиолетовой областях спектра (до $\lambda=250$ мкм). С помощью этого метода в ГОИ и отчасти в ЛИКИ были всесторонне исследованы спектрально-фотографические свойства современных черно-белых и цветных материалов и влияние на них различных факторов: состава твердой фазы галогеносеребряной эмульсии, толщины эмульсионного слоя, степени собственного светопоглощения желатиновой среды, степени оптической сенсibilизации, температуры слоя во время экспонирования и т. д. Было также найдено, что известное правило аддитивности фотографического действия спектрально различных излучений часто не соблюдается. Это, как показал в 1944 г. П. В. Мейкляр, наблюдается в тех случаях, когда монохроматический коэффициент контрастности меняется с длиной волны. Результаты всех этих исследований, в которых деятельное участие принимали О. Д. Бартенева, И. И. Брейдо, Е. И. Ожерельева, С. А. Шестаков и др., в сводной форме представлены в уже упоминавшейся монографии автора настоящего обзора [156].

В последнее время спектральная сенситометрия получила дальнейшее развитие. Во-первых, было установлено [19], что характер явления взаимозаменяемости в ультрафиолетовой области спектра так же не зависит от длины волны действующего излучения, как и в видимой области. Во-вторых, Ю. А. Черкасов с сотр. [20] разработал методику абсолютной спектральной сенситометрии применительно к вакуумной (шумановской) области спектра — от $\lambda=250$ мкм до $\lambda=100$ мкм, чем была достигнута возможность изучения спектральных свойств фотографических материалов вблизи области ионизирующих излучений. Действительно, было установлено, что квантовый выход фотолнза галогенного серебра фотографического слоя достигает в данной области 2 вместо 1 в более длинноволновых лучах. В середине 40-х годов С. С. Гилев, развивая идеи своего учителя — выдающегося советского сенситометриста старшего поколения С. О. Максимова, предложил своеобразный безинструментальный метод (без построения характеристической кривой) количественной оценки свойств фотографических бумаг [21], получивший применение в фотобумажной промыш-

ленности. В дальнейшем сходный метод был предложен для испытания цветных фотографических бумаг [22].

Интересные работы были проведены по изучению явления взаимозаменяемости и связанного с ним явления прерывистого действия света. А. Л. Картужанский и П. В. Мейкляр [23] разработали достаточно простой прибор (назовем его изопакометром) ФСП-8, позволявший получать изооплаки в диапазоне выдержек от 10^{-4} до 10^2 сек., и аналогичный прибор для нормированного прерывистого экспонирования. С помощью этих приборов авторы глубоко исследовали на галогеносеребряных слоях оба явления [23]; в частности, была установлена неправильность толкования явления прерывистого действия света, данного в 30-х годах Узббюм. Впоследствии С. Г. Грениши с сотрудниками построил весьма универсальную модель изопакометра СР-16, с помощью которого было установлено соблюдение закона взаимозаменяемости у электрофотографических слоев на основе селена, окиси цинка и органических полупроводников [24].

Специальное внимание было уделено изысканию наиболее целесообразного критерия светочувствительности негативных пленок — как черно-белых, так и цветных. Здесь надо отметить работы С. С. Гилева [25] по экспериментальному обоснованию критерия $D=0.2+D_0$, принятого в ГОСТах 2817-45 и 2817-50; Г. А. Истомина [26], отстаивавшего целесообразность применения в качестве критерия такой плотности, которая отвечает среднему участку характеристической кривой ($D=0.85+D_0$), принятой в ГОСТе 10691-63, а также в ГОСТе 9160-59 и В. И. Шеберстова [27], защищавшего применение точки инерции — критерий Хертера и Дрифилда.

Далее, необходимо указать на параллельно проведенные Ю. Н. Гороховским и В. В. Левиной [28] и Э. Д. Каценеленбогеном и Г. С. Барановым [29] обширные экспериментальные исследования, показавшие практическую равноценность любого критерия, если исследуемые материалы проявлены до одного и того же коэффициента контрастности.

Исследованием В. М. Бахвалова и Ю. Н. Гороховского [30] была показана необходимость оценки светочувствительности негативных цветных пленок по положению относительно оси экспозиций характеристической кривой того элементарного слоя, который управляет пурпурным слоем позитивного материала.

В статье А. И. Беспальчика [31] была теоретически обоснована неравноценность разных критериев в отношении влияния на численное значение светочувствительности ошибок в длительности проявления и показано преимущество с этой точки зрения критериев, отвечающих примерно середине начального участка характеристической кривой.

И. Б. Блюмбергу принадлежит заслуга внедрения в конце 30-х годов метода сенситометрического контроля проявления кинопленок (по γ) при их машинной обработке в производстве кинофильмов [32].

Многочисленные исследования были проведены по сенситометрии аэрофотографического процесса Г. А. Истоминым [33] и В. Я. Михайловым [34]. Рассмотрение этих работ выходит, однако, за рамки тематики данного совещания. Ограничимся указанием, что А. Н. Успенским [35] в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАИК) был разработан комплект полевой сенситометрической аппаратуры для аэросъемочных партий.

Теория денситометрии и методы исследования зернистой структуры почернений

В области теории денситометрии фотографических почернений должны быть отмечены обстоятельные исследования В. А. Коридорф [36] и И. М. Давыдкина [37]. Первое из них, выполненное во ВНИИМе, было

посвящено сопоставлению численных значений диффузной и интегральной плотностей почернений на прозрачной подложке и установлению тех оптических требований, которым должен удовлетворять фотоэлектрический денситометр. В последнем почернение освещается пучком, близким к параллельности, а восприятие прошедшего через почернение пучка происходит в пределах большого телесного угла, чтобы его показания соответствовали (с необходимой точностью) диффузным плотностям, примененным которых предусмотрено международным соглашением. Второе исследование, выполненное в ЛИН, было направлено на углубленное изучение кинетики рассеяния почернений как на прозрачной, так и на непрозрачной подложке и нахождение способов оценки характера рассеяния света почернениями, всесторонне описываемого индикатрисой, с помощью одного параметра (угла рассеяния или фактора рассеяния), имеющего то принципиальное преимущество перед известным коэффициентом Калды, что он в чистом виде характеризует изучаемое явление.

К теории денситометрии почернений прилагают исследования фотометрического эквивалента почернений, проводившиеся К. В. Вендровским и О. В. Писацкой [38] в НИКФИ и В. П. Барановой и Ю. Н. Гороховским [39] в ГОИ. В них было показано, в частности, что фотометрический эквивалент, эта важнейшая характеристика проявленного слоя, линейно связана со средней площадью проекции серебряных зерен на плоскость слоя, а не со средним диаметром серебряных зерен, как это считали Эптерт и Кистер [40]. Кроме того, параметры линейного уравнения различны для разных материалов, что опять-таки противоречит универсальному уравнению, предложенному вышеупомянутыми немецкими исследователями. Было также показано, что фотометрический эквивалент на каждом данном фотографическом материале при прочих равных условиях зависит от природы действующего — светового или ионизирующего — излучения, увеличиваясь с ростом энергии последнего.

Большое число исследований было посвящено разработке методов измерения зернистости почернений — флуктуаций оптической плотности почернения на равномерно засвеченном и проявленном участке светочувствительного материала. Зернистость представляет собой тот пространственный «фотографический шум», который снижает возможности обнаружения мелких мало контрастных деталей на фотографическом снимке и ухудшает эстетическое восприятие такового.

Автором настоящего обзора было предложено [41] различать два вида зернистой структуры почернения: *микрозернистость*, непосредственно обусловленную дисперсной структурой галогенного серебра фотографической эмульсии, и *макрозернистость*, представляющую собой ту вторичную структуру, которая именно и есть «фотографический шум», возникающую в результате суперпозиции проекций серебряных зерен, расположенных на разных уровнях в эмульсионном слое, и в результате возникновения истинных скоплений зерен.

Совместно с Т. М. Левенберг и Б. М. Левиным [42] мы разработали фотографический проекционный метод измерения макрозернистости по предельному допустимому масштабу увеличения на гранулограмме и специальный прибор для этих целей — проекционный гранулометр УКП-5. Было установлено, что данный полусубъективный метод позволяет измерять макрозернистость с точностью $\pm 8\%$ для данного наблюдателя.

С. Б. Гуревич, И. И. Брейдо и Г. А. Гаврилов [43] обстоятельно изучили возможности, заложенные в известном ранее микрофотометрическом методе оценки зернистости по среднеквадратичному отклонению оптической плотности микроучастка почернения от среднего значения плотности.

Сопоставление обоих вышеуказанных, казалось бы принципиально различных, методов [44] выявило согласие показаний, даваемых ими на

одном и том же почернении, с коэффициентом корреляции 0.97. Таким образом, методы равноценны и взаимно эквивалентны.

Мы не будем здесь касаться экспериментальных исследований закономерностей формирования зернистости почернений и величины отношения сигнал/шум в фотографии, которые были выполнены с помощью обоих вышеописанных методов.

В заключение укажем, что Т. М. Левенберг и Л. К. Локуциевской [45] была показана возможность использования фотографического проекционного метода для оценки макрозернистости позитивных красочных полей путем использования в качестве детектора зернистости черно-белой панхроматической пленки в сочетании со светофильтром, преобразующим кривую спектральной чувствительности материала в аналог кривой видности.

Методы оценки тонкой структуры фотографического изображения

Обратимся теперь к метрологическим разработкам и исследованиям, которые, как мы предложили выше, следовало бы именовать *фотографической структурометрией*. Речь идет об оценке способности фотографирующей системы воспроизводить мелкие элементы объекта фотографирования, определяющей *объем информации*, даваемой фотографическим изображением, и об оценке *комфортности* последнего, под которой следует понимать обусловленную степенью резкости края полуплоскости и уровнем фотографических шумов удобство рассматривания изображения, степень утомляемости наблюдателя.

Здесь на первое место надо поставить работы по *резольвометрии* — учению об измерении разрешающей способности фотографических материалов и некоторых иных пороговых характеристик.

Основоположником отечественной резольвометрии является Ф. Л. Бурмистров, еще в первой половине 30-х годов предложивший конструкцию проекционного резольвометра и методику пользования им [46]. Впоследствии на базе идей этого автора в ГОИ [5, 47, 48] и во ВНИИМе [49] были разработаны более усовершенствованные приборы такого рода (ФСР-5, СР-13, СР-17, РП-2), в которых в связи с общим прогрессом производства фотографических материалов и ростом их разрешающей способности стали применять микроскопические объективы со все большей числовой апертурой — от 0.1 в первоначальных моделях до 0.65 в модели резольвометров ВНИИМ РП-2. Новейшие проекционные резольвометры позволяют измерять разрешающие способности, достигающие примерно 2000 мм⁻¹. Для пленок массового применения (мы отнесем к ним пленки, разрешающая способность которых не превышает 250—300 мм⁻¹) оптимальным, по данным В. А. Корндорф и И. А. Черного [50], является объектив с апертурным числом 0.3. Для материалов на непрозрачной подложке, по данным Ю. Н. Гороховского и Т. А. Ломаченковой [51], оптимальной является апертура объектива около 0.15. Наконец, по данным П. Х. Прусс [52], кривые объектива около 0.15. Наконец, по данным П. Х. Прусс [52], кривые апертурной зависимости разрешающей способности высокоразрешающих материалов вообще не имеют максимума: они либо монотонно поднимаются вверх вплоть до $A=0.65$, либо, достигнув при некоторой апертуре некоторого наивысшего значения, далее становятся параллельными оси абсцисс.

По-видимому, лишь в нашей стране проекционные резольвометры изготовляют промышленными сериями.

Попытки создать резольвометры, использующие интерференционную картину, делали в Италии [53] и СССР [54, 55], поскольку по ряду соображений, в особенности ввиду принципиальной возможности достижения чрезвычайно высоких пространственных частот, такие приборы могут иметь важные преимущества перед проекционными резольвометрами. Однако успех намечился лишь в последнее время [55], с применением лазерного

источника света; в этом случае интерференционная картина обладает той необходимой яркостью, при которой выдержки могут быть достаточно малы, и поэтому не сказывается вредное влияние вибраций прибора и других механических помех.

Многokrатно высказывались сомнения в пригодности понятия разрешающей способности, характеризующего предельные возможности фотографического воспроизведения одномерной штриховой решетки высокого контраста, для оценки воспроизведения светочувствительным слоем реальных объектов, состоящих в основном из мелких двухмерных деталей того или иного, в том числе очень низкого, контраста. Это обстоятельство побудило Ю. К. Вифанского и Ю. Н. Гороховского [56] предпринять подробное экспериментальное исследование характера воспроизведения двухмерных деталей разной формы (но всегда вписывающихся в квадрат и состоящих из элементов шириной в треть стороны квадрата) и разного контраста. Оказалось, что высказывавшиеся опасения неосновательны: при сопоставимых условиях оценки выделяющая способность, характеризующая воспроизведение таких двухмерных деталей, с точностью $\pm 10\%$ пропорциональна разрешающей способности. Таким образом, неосновательны и делавшиеся неоднократно предложения об оценке разрешающей способности не по мирам абсолютного контраста, как это делают обычно, а по мирам низкого контраста, соответствующего среднему контрасту мелких деталей в оптическом изображении типичных объектов фотографирования.

Природа разрешающей способности явилась предметом подробного изучения в ГОИ, в основном в многочисленных оптико-фотографических работах П. Х. Прусс [57] и в эмульсионно-технологических работах И. Р. Протас с сотр. (стр. 40). Не касаясь существа этих работ, укажем лишь, что результаты П. Х. Прусс свидетельствуют об определяющем значении зеркального однократного рассеяния света на отдельных эмульсионных кристаллах и степени поглощения рассеянного света в слое.

Интересная работа З. И. Грацианской [58] ясно показала, что в формировании разрешающей способности при данном светорассеянии основную роль играет характер распределения эмульсионных кристаллов по светочувствительности.

Наконец, укажем, что И. И. Брейдо и П. Х. Прусс [59] установили, что спектральный ход разрешающей способности и рассеяния света в эмульсионном слое тесно связаны друг с другом и что оптическая сенсibilизация эмульсии изменяет разрешающую способность по отношению к белому свету сообразно тому, где больше светорассеяние: в коротковолновой области собственной чувствительности галогенного серебра или в длинноволновой области сенсibilизации.

Вопрос о разрешающей способности фотографических слоев при действии на них ионизирующих излучений был рассмотрен А. Л. Картужанским и Б. П. Солтицим [60]. Установлено, что общий характер разрешения одинаков для света и для α - и β -частиц, однако характерно, что с ростом энергии частиц и, следовательно, с ростом их пробега в эмульсионном слое разрешающая способность убывает.

Разрешающую способность многослойных цветных материалов детально изучали в ГОИ [61]. Было показано, что следует определять 4 значения этой величины — для синего, зеленого, красного и белого света — и характеризовать многослойный материал величинами резольвометрической сбалансированности, по аналогии с сенситометрической сбалансированностью, находимой из триады характеристических кривых такого материала.

Наконец, вопрос о взаимосвязи разрешающих способностей фотографических объектива и материала был предметом теоретического исследования Л. П. Мороза [62] и экспериментального изучения А. Т. Ащеулова

с сотр. [47] и некоторых других, упоминавшихся выше авторов [50—52]. Однако до сих пор нет окончательного суждения о характере разрешающей способности двух- и многозвенной фотографирующей системы, в особенности при изменении относительного отверстия объектива.

Немало внимания уделяли отечественные исследователи другому аспекту оценки качества фотографического изображения — резкости изображения края полуплоскости, оцениваемой, как предложил в свое время еще Э. Гольдберг [63], крутизной так называемой пограничной кривой — $D=f(x)$.

Самым ранним в этой области было микрофотометрическое исследование, проведенное в 20-х годах Н. Н. Валенковым [64]. Много позже аналогичное исследование было предпринято Ю. К. Вифанским и Ю. Н. Гороховским [65]. Они пришли к заключению, что разные численные характеристики физической резкости по пограничной кривой черно-белого материала, предлагавшиеся разными авторами, дают примерно одну и ту же последовательность значений, согласующуюся со зрительным восприятием резкости, но при этом формула Джонса и Хиггинса дает значения, наиболее резко меняющиеся с изменением зрительного восприятия. Аналогичным образом было показано, что триада пограничных кривых многослойного цветного материала может служить объективной мерой субъективно воспринимаемого качества изображения на нем, в исследованном случае — читаемости текста [66].

И. Б. Блюмберг с сотр. [67] предложил своеобразный количественный метод оценки субъективной резкости, сходный с описанной выше оценкой макрозернистости — по предельному масштабу увеличения, при котором на отпечатке становится видимой нерезкость изображения края полуплоскости.

Исходя из фундаментальных исследований Г. Фризера [68], посвященных определению функции рассеяния эмульсионного слоя, представляющей собой экспоненциальную функцию, связывающую величины наложенной на слой и действующей на него освещенностей, Г. А. Истомин [69] предложил метод диффузиметрических испытаний фотографических материалов, который получил довольно широкое распространение. Дискуссия по этому вопросу [70, 71] способствовала уточнению возможностей этого метода.

Обратимся теперь к проблеме определения частотно-контрастной функции (ЧКФ)* отдельного элемента фотографирующей системы. Эта функция в наиболее общей форме описывает соотношение между выраженными в надлежащей и единообразной форме контрастами изображений одномерной решетки в двух последующих звеньях фотографического процесса при различных пространственных частотах решетки; например, отношение контрастов оптического изображения решетки и самой решетки (ЧКФ объектива камеры), отношение контрастов фотографического изображения решетки, выражаемого через действующие на эмульсионный слой освещенности, и наложенного на слой оптического изображения (ЧКФ фотографического материала) и т. п.

Советская фотографическая наука обязана покойному А. Т. Ащеулову широкой пропагандой применения преобразований Фурье к оценке тонкой структуры оптического и фотографического изображений [72], когда методы гармонического анализа были еще новостью в оптике и фотографии, и первыми в нашей стране экспериментальными исследованиями в данной области [73]. Мы не будем здесь, естественно, касаться последующих работ по изучению качества фотографических объективов и ограничимся

* Называемой также частотно-контрастной характеристикой (ЧКХ), модуляционно-передаточной функцией (МПФ) и т. д.

упоминанием некоторых работ по изучению ЧКФ фотографических материалов. Это изучение производили в основном путем микрофотометрической обработки изображений прямоугольной миры переменной частоты с последующим графическим анализом регистрограмм приемами, разработанными П. Х. Прусс [74], А. А. Баранцевой, Ю. Н. Гороховским и Р. П. Филлимоновым [75] и, наконец, А. И. Вейцманом и К. В. Вендровским [76]. Была, в частности, установлена малая изменчивость формы высокочастотной ветви полулогарифмической ветви ЧКФ — $T=f(\lg \nu)$ — для самых разных по уровню разрешающей способности фотографических материалов отечественного и зарубежного промышленного выпуска [75]. Это является дополнительным аргументом для использования понятия разрешающей способности в качестве основной одночисленной характеристики способности фотографического материала к воспроизведению мелких элементов наложенного оптического изображения.

Частотно-контрастная функция материала может быть получена не только по изображению прямоугольной или синусоидальной миры, но и по изображению края полудиско (по пограничной кривой), по изображению одиночного штриха и т. д. Однако следует при этом помнить, что микроэффекты (краевые эффекты) проявления при разном характере изображения и при разных условиях проявления по-разному деформируют изображение, влияя на эффективную форму кривой ЧКФ. Вопрос этот, уже освещавшийся ранее в литературе, в последнее время явился предметом подробного изучения А. Л. Кудиной [77], установившей здесь ряд важных положений.

В заключение отметим работы по микрофотометрии как черно-белых [78], так и многослойных цветных материалов [79]. Микрофотометрия, являющаяся разделом сенситометрии, изучает зависимость сенситометрических свойств фотографического материала от размеров экспонируемого поля. Очевидно, что чем меньше эти размеры, тем в большей мере выявляются «ростковые» действующей световой энергией за пределы геометрических границ поля и тем меньшей должна быть оптическая плотность в центре центральной части поля (например, штриха). В то же время по мере уменьшения размера поля кинетика проявления по полемощию мере, зависящая от скорости диффузионного обилия компонентов, приближается к раствору. В результате реакции проявления между растворимым веществом и светом, что должно приводить к росту оптической плотности в центре поля [80]. Было установлено, что микрофотометрические эффекты начинают существенно сказываться при ширине одиночного штриха порядка $T_0 \approx 200$ мкм. На многослойных цветных панелях при уровне микрофотометрических эффектов существенно проявляются явления взаимного влияния слоев при цветном проявлении [81].

Микрофотометрия представляет собой частную область между собой сенситометрии и учением о структурных свойствах фотографического изображения.

Замечание

Отечественным авторам в последние годы в годовщину десятилетия написаны несколько книг по микрофотометрии, учебной и справочной литературы по тем разделам фотографической науки, которые мы предлагаем объединить под обобщающим термином «фотографическая метрология».

* ЧКФ. Ч. 4. Б. 5. Теория фотографического процесса. Т. 14. Количественная фотография. Кинофотоизд., М., 1935; Д. С. Баранцева, В. Шерберстова. Практическая сенситометрия. Изд. «Искусство», М., 1937; Ю. Н. Гороховский, О. Д. Баранцева. Атлас спектральных свойств современных фотографических материалов. Изд. ГОИ, Л., 1942; Ю. Н. Гороховский. Ме-

На страницах «Журнала научной и прикладной фотографии и кинематографии» и неперіодических сборников «Успехи научной фотографии» было опубликовано несколько обзоров. Защищено около 15 кандидатских диссертаций в данной области и две докторских диссертации.

Не представлялось возможным в рамках данного доклада осветить все работы, проведенные и опубликованные в рассматриваемой нами области. Автор заранее признает возможность существенных упущений, однако большинство их компенсируется соответствующими упоминаниями в других докладах на настоящем совещании.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] F. Hurter, V. C. Driffield, J. Soc. Chem. Ind. (London), 1890, 9, 455; 1891, 10, 20, 98, 100, 318.
- [2] М. Ф. Маликов. Основы метрологии, ч. 1. Изд. Ком. по делам мер и измерит. приборов, М., 1949.
- [3] R. Luther, Bericht VIII Int. Kongr. Phot., Dresden, 1931, 102; R. Luther u. H. Staude. Phot. Ind., 1934, 32, 1139—1144.
- [4] Т. П. Кравец, Кинофотохимпром., 1939, 5, вып. 7, 9; Ю. Н. Гороховский, там же, 1939, 5, вып. 7, 33.
- [5] Кинофотохимпром. за 1939 и 1940 гг.; Ю. Н. Гороховский, ЖТФ, 1946, 16, 55—70.
- [6] ГОСТ 2653-44; ГОСТ 2817-45 (в дальнейшем 2817-50); ГОСТы 2818-45, 2819-45.
- [7] М. В. Савостьянова, И. А. Черный, Кинофотохимпром., 1940, 6, вып. 3, 26.
- [8] С. С. Гилев, З. А. Сквордова, В. А. Слепова и Л. Н. Юлина, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 82.
- [9] Ю. Н. Гороховский, Тр. ГОИ, 1941, 14, 321.
- [10] И. А. Черный, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 158.
- [11] Л. Ф. Артюшин, Н. С. Овечкис, настоящий сборник, стр. 244.
- [12] Н. Д. Нюберг, Г. С. Баранов, Н. С. Овечкис, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 72; Н. Д. Нюберг, там же, 134; N. D. Nyberg, Z. wiss. Photogr., 1956, 50, 14; 1956, 51, 1.
- [13] Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1957, 1, вып. 10, 45; 1958, 2, вып. 4, 52; Л. Ф. Артюшин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 120; Л. Ф. Артюшин, Н. Ф. Семенова, там же, 1962, 7, 418.
- [14] ГОСТ 9160-59.
- [15] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, М., 1960, а) гл. V—VII; б) II—IV.
- [16] Г. С. Баранов, в сб.: Цветная кинематография, под ред. Е. М. Голдовского, Изд. «Искусство», М., 1955, стр. 64; G. S. Baranow, N. S. Owechskis, E. D. Katzenelenbogen u. L. K. Krupenin, in: Wissenschaftliche Photographie, Erg. Int. Konf. Köln, 1956, Darmstadt, 1956, 522.
- [17] В. И. Апаньев, Л. К. Крупенин, Н. С. Овечкис, Техн. кино и телевид., 1969, 13, вып. 5, 5.
- [18] Е. Г. Валишко, Ю. Н. Гороховский, Фотохимпром., 1936, 4, 247; И. И. Брейдо, Ю. Н. Гороховский, ДАН СССР, 1940, 28, 703.
- [19] В. М. Уварова, М. Р. Шпольский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 446; И. Я. Барский, В. А. В. Якубенас, В. В. Левина, там же, 1965, 10, 103.

тоды фотографической сенситометрии. Госкиноиздат, М., 1948; Г. С. Баранов. Вопросы теории фотографического воспроизведения. Госкиноиздат, М., 1949; Г. А. Исупов. Сенситометрия аэрофотоматериалов и пользование стандартной сенситометрической аппаратурой. Оборонгиз, М., 1952; Свойства фотографических материалов прозрачной подложке. Сенситометрический справочник. Под ред. Ю. Н. Гороховского и С. С. Гилева. ГИТТЛ, М., 1955; Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левина англ. яз., Focal Press, London—N. Y., 1965; Ю. Н. Гороховский, М., 1963; Н. Д. Нюберг. Общая сенситометрия. Теория и практика. Изд. «Искусство», М., 1965, А. И. Вейцман, там же на англ. языке, Focal Press, London—N. Y., 1965, А. И. Вейцман, К. В. Вендровский. Обзор современного состояния зарубежной и отечественной литературы по изучению резкостных свойств фотографических материалов. Изд. НИКФИ, М., 1969 (литогр. изд.); см. также: сб. «Иконика», изд., «Наука», М., 1968, стр. 97—130.

- [20] Ю. А. Черкасов, Н. Е. Захарова, Г. Я. Зеликина, Е. А. Седорова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1969, 14, 163.
- [21] С. С. Гизев, Руководство к использованию стандартной сенситометрической аппаратуры, Оборонгиз, М., 1952, гл. VII.
- [22] Ю. В. Гороховский, В. В. Левина, К. Б. Попова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 289.
- [23] А. Л. Картужанский, П. В. Мейклар, ЖЭТФ, 1954, 21, 532; А. Л. Картужанский, Усп. физ. наук, 1953, 51, 161.
- [24] С. Г. Гренишкин, Н. Е. Захарова, Ю. А. Черкасов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 179.
- [25] С. С. Гизев, ЖТФ, 1946, 16, 159.
- [26] Г. А. Истомина, Сб. науч.-тех. ст. ГУГК, 1947, 15, 190; Усп. науч. фотогр., 1965, IV, 107, 23.
- [27] В. И. Шеберстов, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 44; К. И. Маршалевич, В. И. Шеберстов, там же, 1957, V, 161.
- [28] Ю. Н. Гороховский, В. В. Левина, Усп. науч. фотогр., 1962, VIII, 179.
- [29] Э. Д. Баденевденбоген, Г. С. Баранов, Усп. науч. фотогр., 1962, VIII, 185.
- [30] В. М. Бахвалов, Ю. Н. Гороховский, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 36.
- [31] А. И. Босвальчик, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 307.
- [32] Кинофотохимпром., 1940, 6, вып. 2, 8.
- [33] Г. А. Истомина, Тр. ЦНИИТАНК, 1954, 82, 3; 1955, 107, 139.
- [34] В. Я. Михайлов, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 61; В. Я. Михайлов, М. И. Цыганов, Тр. ЦНИИТАНК, 1955, 107, 5; В. Я. Михайлов, Тр. ЦНИИТАНК, 1955, 107, 79; 1964, 149, 83.
- [35] А. Н. Успенский, Тр. ЦНИИТАНК, 1961, 142, 199; Усп. науч. фотогр., 1962, VIII, 273.
- [36] В. А. Коридорф, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 67.
- [37] Ю. Н. Гороховский, И. М. Давыдкин, Изв. АН СССР, сер. физ.-хим. науки, 1957, 21, 4505, 4517; Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 430; И. М. Давыдкин, там же, 1959, 4, 334.
- [38] К. В. Вендровский, О. В. Пясецкая, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 368; 1963, 8, 67.
- [39] В. П. Баранова, Ю. Н. Гороховский, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 181.
- [40] J. Eggert, A. Küster, Wiss. Veröff. Agfa, 1937, 5, 123.
- [41] Ю. Н. Гороховский, Усп. науч. фотогр., 1951, I, 23.
- [42] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Усп. науч. фотогр., 1954, I, 86; Ю. Н. Гороховский, Б. М. Левин, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 117.
- [43] С. Б. Гуревич, И. И. Брейдо, Г. А. Гаврилов, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 163, 171.
- [44] И. И. Брейдо, С. В. Бучинская, Т. М. Левенберг, И. И. Минакова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 101.
- [45] Т. М. Левенберг, Л. К. Локуцевская, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 195.
- [46] Ф. Л. Бурминстров, Тр. ГОИ, 1934, 10, вып. 90, 36; ЖТФ, 1936, 6, 1731.
- [47] А. Т. Ащеулов, Т. А. Павличук, М. Д. Хухрина, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 88.
- [48] Ю. Н. Гороховский, В. В. Левина, Оптико-мех. пром., 1966, 33, вып. 9, 26.
- [49] В. А. Коридорф, И. А. Черный, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 278.
- [50] В. А. Коридорф, И. А. Черный, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 448; Усп. науч. фотогр., 1964, X, 90.
- [51] Ю. Н. Гороховский, Т. А. Ломаченкова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 285; 1968, 13, 130.
- [52] П. Х. Прусс, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 52.
- [53] R. Brusaglioni, Ottica, 1936, 1, 23; 1937, 2, 197.
- [54] А. Т. Ащеулов, М. Д. Хухрина, Усп. науч. фотогр., 1955, IV, 106.
- [55] А. Н. Зайдель, В. Б. Константинов, Ю. И. Островский, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 381.
- [56] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 276, 345; 1960, 5, 15.
- [57] П. Х. Прусс, ЖТФ, 1954, 24, 50; Изв. АН СССР, сер. физ., 1957, 21, 1526; Усп. науч. фотогр., 1964, X, 235; П. Х. Прусс, В. И. Максина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 259.

- [58] З. И. Грацианская, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 169.
- [59] И. И. Брейдо, П. Х. Прусс, ЖТФ, 1952, 22, 515.
- [60] А. Л. Картужанский, Б. П. Солтицкий, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 253.
- [61] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Усп. науч. фотогр., 1954, II, 134; Ю. Н. Гороховский, П. Х. Прусс, ЖТФ, 1955, 25, 221; М. И. Барро, Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс, Усп. науч. фотогр., 1962, VIII, 21.
- [62] Л. П. Мороз, ЖТФ, 1944, 14, 251; Усп. науч. фотогр., 1951, I, 135.
- [63] E. Goldberg, Phot. J., 1912, 36, 300.
- [64] N. N. Valenkov, Z. wiss. Photograph., 1929, 27, 236.
- [65] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 290, 369.
- [66] Ю. Н. Гороховский, Г. И. Лозневой, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 68.
- [67] И. Б. Блюмберг, Т. М. Зязина, Г. И. Терегулов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 268.
- [68] П. Х. Прусс, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 216.
- [69] Г. А. Истомина, Техн. кино и телевид., 1961, 5, вып. 2, 1; 1965, 9, вып. 2, 1; Усп. науч. фотогр., 1964, X, 75, 77, 219.
- [70] П. Х. Прусс, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 354, 418.
- [71] Г. А. Истомина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 378; Г. А. Истомина и Г. Г. Грибакин, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 438.
- [72] А. Т. Ащеулов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 465; 1960, 5, 148; Оптико-мех. пром., 27, 1960, вып. 6, 1; вып. 7, 10.
- [73] А. Т. Ащеулов, Т. А. Павличук, М. Д. Хухрина, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 64; Усп. науч. фотогр., 1964, X, 7; А. Т. Ащеулов, Н. П. Березин, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 15.
- [74] П. Х. Прусс, Усп. науч. фотогр., 1966, XI, 222.
- [75] А. А. Баранцева, Ю. Н. Гороховский, Р. П. Филимонов, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 220.
- [76] А. И. Вейцман, К. В. Вендровский, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 303.
- [77] Ю. Н. Гороховский, А. Л. Кузнецова, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1970, 15, 196.
- [78] И. И. Брейдо, Усп. науч. фотогр., 1951, I, 118.
- [79] Ю. Н. Гороховский, З. С. Щербаковский, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 341, 466.
- [80] С. Г. Богданов, А. Л. Шамшева, Усп. науч. фотогр., 1964, X, 202.
- [81] Д. К. Балабуха, Ю. Н. Гороховский, ДАН СССР, 1951, 79, 969.

С. Г. ГРЕНИШИН

ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ

Исследования полупроводников, выполненные за последние десятилетия, открыли широкие возможности для создания новых методов получения фотографического изображения, принципиально отличающихся от классических фотографических методов, основанных на применении галогосеребряных желатиновых слоев.

Среди новых фотографических методов наиболее перспективным оказался электрофотографический метод получения изображения. За последние годы электрофотография получила значительное развитие и в настоящее время превратилась в новую область научной и прикладной фотографии.

В электрофотографии тесным образом сочетаются электростатические, электрические и фотоэлектрические процессы в высокоомных полупроводниках. Электрофотографический слой представляет собой высокоомный фотополупроводник, нанесенный тонким слоем на подложку и способный электризоваться. Процесс получения изображения в электрофотографии состоит из следующих основных этапов, которые принципиально отличаются от этапов получения изображения в обычной фотографии. Перед экспонированием электрофотографический слой электризуют в электрическом поле, в результате чего на поверхности полупроводникового слоя (или в его глубине) создаются электростатические заряды. При экспонировании такого слоя активным светом электростатический заряд в освещенных участках релаксирует быстрее, чем в неосвещенных, и после экспонирования слоя на его поверхности образуется потенциальный рельеф, или так называемое скрытое электростатическое изображение.

В большинстве случаев практического использования электрофотографии проявление (визуализацию) этого изображения производят с помощью электрически заряженных порошков. После проявления на поверхности слоя формируется порошковое изображение, которое может быть закреплено непосредственно на слое или перенесено с поверхности слоя на другую подложку, а затем закреплено.

Следовательно, сложную обработку галогосеребряных желатиновых слоев в электрофотографии заменяют простым электростатическим взаимодействием. В этом состоит несомненное преимущество электрофотографического метода получения изображения перед обычным фотографическим.

Электрофотография открывает большие возможности в автоматизации процесса получения снимков, а также в расширении границ спектральной чувствительности за счет применения разных типов полупроводников. В электрофотографии возможно многократное применение одних и тех же электрофотографических слоев и получение изображения после его переноса на обычную бумагу. Электрофотографический процесс выгоден и

с экономической точки зрения. Он не требует таких дорогостоящих материалов, как галогидное серебро, и сложной технологии изготовления слоев.

Электрофотография как новый фотографический процесс получила быстрое развитие после работ Карлсона и других авторов, выполненных в 1939—1950 гг. [1—14], хотя отдельные вопросы электрофотографического процесса (формирование изображения на полупроводнике, визуализация электростатического изображения электрически заряженными порошками и др.) были известны и до некоторой степени исследованы значительно раньше [15, 16].

В нашей стране электрофотографический процесс начал быстро развиваться после цикла теоретических и экспериментальных работ, выполненных в области электрофотографии в ГОИ, НИИ полиграфического машиностроения, Вильнюсском педагогическом институте в 1955—1957 гг.

В дальнейшем для более успешного развития научных исследований, а также развития работ по электрофотографическому приборостроению был создан специальный научно-исследовательский институт электрофотографии и отдельные лаборатории в ряде научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений.

К 50-летию Октября в нашей стране выполнены не только фундаментальные исследования по теории образования электростатического изображения, визуализации изображения и методам изготовления слоев, сенситометрии электрофотографического процесса и др., но и созданы электрофотографические приборы и устройства, нашедшие практическое применение в народном хозяйстве, которые по основным фотографическим характеристикам не уступают лучшим зарубежным образцам аппаратуры подобного типа.

Количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области электрофотографии, а также количество публикаций в научно-технических журналах с каждым годом непрерывно растет. За последние десять лет в нашей стране проведены три общесоюзных научно-технических конференции, а также несколько совещаний и коллоквиумов по вопросам электрофотографии, на которых обсуждались теоретические и экспериментальные работы, выполненные в разных научно-исследовательских учреждениях.

Очевидно, рассмотреть подробно в данном обзоре все выполненные работы не представляется возможным, поэтому мы ограничимся рассмотрением лишь основных результатов по исследованию свойств электрофотографических слоев и механизма формирования электростатического изображения, по разработке методов визуализации изображения, сенситометрии электрофотографического процесса и др.

Электрофотографические слои и их свойства

Электрофотографический слой состоит из полупроводника с достаточно высоким удельным электрическим сопротивлением ($\rho = 10^{13} \sim 10^{14}$ ом·см). Он обладает необходимой спектральной фотоэлектрической чувствительностью и имеет достаточную механическую прочность.

От обычного полупроводникового слоя электризации, изменяется тем, что способен сохранять состояние электризации, изменяющееся под действием излучения. К настоящему времени электрофотографические слои готовят из различных неорганических и органических полупроводников несколькими методами: конденсацией молекулярного пучка в вакууме, поливом суспензии, спеканием порошкообразного полупроводника, химическим осаждением и др. В Советском

Союзе разработано около 20 различных электрофотографических слоев (табл. 1).

В принципе с помощью слоев, приведенных в табл. 1, можно регистрировать излучение в широкой области спектра — от рентгеновской до инфракрасной. Электрофотографические слои можно разделить ориентировочно на четыре большие группы: для видимой и близкой ультрафиолетовой областей спектра ($\lambda=300-800$ мкм), инфракрасной области спектра ($\lambda > 800$ мкм), вакуумной ультрафиолетовой области ($\lambda < 300$ мкм) и рентгеновской области ($\lambda < 10$ мкм).

Широкое практическое применение в электрофотографии — преимущественно для видимой области спектра — получили такие неорганические полупроводники, как селен (в чистом виде или в виде смесей с мышьяком, теллуром и др.) и окись цинка. Для изготовления слоев на основе первого применяют в основном метод конденсации молекулярного пучка в вакууме на металлической подложке, а при изготовлении электрофотографических слоев на основе окиси цинка применяют метод полива суспензии на бумагу.

Вопросам изготовления электрофотографических слоев посвящена весьма обширная литература как у нас, так и за рубежом. Первые сведения о электрофотографических слоях на селене появились в 1948 г. [17, 29], а на окиси цинка — в 1954 г. [25]. Однако в указанных работах были приведены лишь общие сведения о слоях и практически отсутство-

вала технология их изготовления, а также исследования структурных, оптических, электрических и фотоэлектрических свойств. Без таких исследований и разработки технологии изготовления невозможно было создать отечественные электрофотографические слои и промышленно их освоить. В этом отношении большое значение для развития электрофотографии имели работы, выполненные в 50-х и в начале 60-х годов С. Г. Грениным, И. И. Жилевичем, В. М. Фридкиным, П. М. Подвигалкиным, С. М. Нейманом, Ю. А. Черкасовым и др., по разработке методов изготовления электрофотографических селеновых слоев и слоев из окиси цинка, исследованиям электрических, фотоэлектрических свойств, определению общей и спектральной чувствительности слоев [18, 21, 22, 30—38].

Селеновые электрофотографические слои обычно изготавливают методом конденсации молекулярного пучка селена в вакууме на металлической подложке Se, хотя небезуспешно для изготовления слоев, как показано работами В. Г. Бойцова и Б. А. Тазенкова [39], может быть применен метод возгонки твердого селена.

Электрофотографические свойства селеновых слоев, изготовленных методом вакуумного испарения, существенным образом зависят от режима испарения (давления в вакуумной системе, скорости испарения), температуры подложки, химической чистоты селена и др. В практике для изготовления селеновых электрофотографических слоев применяют обычно вакуум $\sim 10^{-3}-10^{-5}$ мм рт. ст., а скорость напыления составляет несколько микрон в минуту.

Электрофотографическая светочувствительность селеновых слоев существенным образом зависит от температуры подложки в процессе напыления. Это связано с тем, что в зависимости от температуры подложки конденсированный селен может находиться в разных аллотропических модификациях, отличающихся электрическими, фотоэлектрическими и структурными свойствами. При напылении селена на сильно охлажденную подложку ($T \sim -190^\circ \text{C}$) образующиеся слои характеризуются весьма высоким удельным электросопротивлением и имеют низкую фотоэлектрическую чувствительность в видимой области спектра.

С повышением температуры подложки изменяются оптические, электрические, фотоэлектрические свойства селеновых слоев. Длинноволновый край полосы поглощения слоя смещается в сторону больших длин волн, удельное электросопротивление уменьшается, фоточувствительность возрастает, а также наблюдается переход от аморфной модификации к кристаллическим.

Практическое применение в электрофотографии нашли слои, получаемые при конденсации селена на подложки, температуры которых $T \sim 20-70^\circ \text{C}$. Селеновые слои, полученные в таких температурных условиях напыления, аморфны. Однако эти слои в отличие от селеновых слоев, полученных на сильно охлажденной подложке, содержат некоторое количество вкрапленного гексагонального кристаллического селена.

Слои из аморфного (стеклообразного) селена довольно прочно пристаю к металлическим подложкам, обладают достаточной твердостью, имеют зеркальную поверхность и медленно перекристаллизуются при комнатной температуре. Если конденсировать испаренный в вакууме селен на подложки, нагретые до температур, значительно превышающих 70°C , на образующиеся слои будут иметь кристаллические структуры. При температуре подложки $T \sim 100^\circ \text{C}$ и более слои приобретают гексагональную кристаллическую структуру.

Селеновые слои, обладающие приемлемой электрофотографической чувствительностью, в процессе вакуумного напыления получают в весьма ограниченном диапазоне изменения температуры подложки

Таблица 1

Основные типы электрографических слоев

Вещество слоя	Метод изготовления	Литература	Примечание
Se	Конденсация в вакууме	[17]	Чувствительность (от видимой до рентгеновской области)
Se+As	То же	[18]	Термическая устойчивость
Se+As+Cd	» »	[19]	Повышенная чувствительность в видимой области
Se+As+Te	» »	[20]	Повышенная чувствительность в рентгеновской области
Sb ₂ Se ₃	» »	[21]	—
S	» »	[1]	—
Антрацен	» »	[1]	—
Se+Te	» »	[1]	—
CdS	» »	[22]	Высокая чувствительность в видимой области
CdSe	» »	[23]	—
CdSe	» »	[23]	—
CdTe	Конденсация молекулярного пучка в атмосфере инертного газа	[23]	Высокая пахроматическая чувствительность
CdSe	То же	[23]	—
CdS	Спекание	[24]	—
CdS	Полив порошка в связующей среде	[22]	Чувствительность в ближней ИК-области
ZnO	То же	[25]	—
ZnO+красители	» »	[25]	—
Полистирол	Полив раствора	[25]	—
Ацетилениды меди	То же	[26]	—
PbO	Полив порошка в связующей среде	[27]	Солнечно-слепые слои
		[28]	Повышенная чувствительность в рентгеновской области

(20—80° С). Верхний предел температуры подложки при изготовлении селеновых электрофотографических слоев 50—80° С. При таких условиях получают слои, обладающие наиболее высокой электрофотографической светочувствительностью. Высокая светочувствительность может быть достигнута также путем термической обработки селеновых слоев, нанесенных в вакууме на холодную подложку.

Структура селеновых слоев и возникающие в них микродефекты исследовались И. Д. Набитовичем, Н. М. Гальвидисом и др. [40, 41].

Для изготовления селеновых слоев обычно применяют чистый селен, содержащий незначительное (0.01%) количество примесей. В этом случае достигаемая в слое оптимальная электрофотографическая светочувствительность определяется условиями вакуумного напыления и термической обработки.

Светочувствительность слоев на основе селена может быть существенно повышена применением смесей селена с теллуридом, мышьяком и др. При этом мышьяк не только повышает светочувствительность слоев, но и делает их более термостойкими.

Методам изготовления электрофотографических слоев Se—Te, Se—As и др., а также исследованиям их электрических, фотоэлектрических свойств и электрофотографической светочувствительности посвящены работы С. Г. Гренишина, Ю. А. Черкасова, А. Таурайтиса и др. [18—20, 22, 23, 35, 42—44]. Такие слои обладают в 6—8 раз более высокой светочувствительностью по сравнению с селеновыми и значительной термостойкостью. Так, пребывание слоев Se—As в течение многих часов при 100° С практически не изменяет их электрофотографических характеристик, тогда как селеновые слои становятся практически непригодными и окислительными через несколько минут нахождения при такой температуре.

Как показано П. М. Подвигалкиным, В. М. Любимым, Ю. А. Черкасовым и др. [23, 24], электрофотографические слои можно изготовить и на основе халькогенидов кадмия. Ю. А. Черкасовым и В. М. Любимым для изготовления электрофотографических слоев применена методика конденсации молекулярного луча в атмосфере инертных газов, а П. М. Подвигалкиным — методика спекания порошкообразного полупроводника.

Интересные работы выполнены в ГОИ и НИИ электрографии по созданию и исследованию многослойных электрофотографических систем с длительной памятью, чувствительных в широкой области спектра [18, 21, 45]. В этих работах показано, что двухслойные электрофотографические слои кристаллический селен-аморфный селен обладают спектральной чувствительностью до 1 мк. Применение CdSe в качестве подслоя приводит к повышению чувствительности в красной области спектра, а подслоя из ZnSe значительно замедляет темновую релаксацию.

Селеновые слои в чистом виде или с примесями наносят в основном на металлические подложки (алюминиевые, латунные и др.). Обычно толщина электрофотографических селеновых (селен-теллуридных и др.) слоев колеблется в пределах 10—50 мк. В отдельных случаях, например для рентгенографии, толщина селеновых электрофотографических слоев может достигать значений ~ 100—200 мк, а то время как при использовании селеновых слоев в спектроскопии с электронным методом считывания толщина их составляет лишь несколько микрон.

Вторым полупроводником, нашедшим широкое практическое применение в электрофотографии, является окись цинка. Электрофотографические слои из окиси цинка изготавливают методом диспергирования в связующей высокоомной среде. В результате диспергирования измельченной окиси цинка получается своеобразная фотографическая эмульсия

(суспензия), в которой роль эмульсионных кристаллов выполняют зерна ZnO. Если такую суспензию нанести тонким слоем на подложку (в большинстве случаев в качестве подложки применяются разные виды бумаг), а затем высушить, то получают электрофотографические слои, которые имеют обычно толщину 20—50 мк. В качестве высокоомных связующих сред применяют различные типы синтетических или естественных смол, клеи, изоляционные лаки и др., а растворителями являются спирты, эфиры и др.

Связующая среда в электрофотографическом слое решает несколько задач [33, 34]. Во-первых, закрепляет частицы порошка окиси цинка на поверхности подложки, т. е. связывает порошкообразный полупроводник с подложкой. Во-вторых, предохраняет окись цинка от влаги, а также от влияния окружающего воздуха. В-третьих, способствует уменьшению удельной электропроводности измельченной окиси цинка, находящейся в слое.

Для синтеза электрофотографических слоев применяют высокоомную и светочувствительную окись цинка. Этим требованиям удовлетворяет отечественная окись цинка марки М-1, или «сда».

Электрофотографические слои, изготовленные из чистой окиси цинка, в видимой области спектра обладают очень малой светочувствительностью. Наиболее эффективным средством повышения светочувствительности электрофотографических слоев ZnO является оптическая сенсibilизация с помощью органических красителей.

Эффект оптической сенсibilизации внутреннего фотоэффекта в ZnO впервые обнаружен, а затем подробно исследован А. Н. Терениным и Е. К. Пуцейко [46, 47]. Работы А. Н. Теренина и Е. К. Пуцейко сыграли существенную роль в создании сенсibilизированных цинкоксидных электрофотографических слоев не только в нашей стране, но и за рубежом. С помощью органических красителей, а также пигментов можно сенсibilизировать внутренний фотоэффект в ZnO к излучениям разных участков спектра. Ниже приведены максимумы сенсibilизированной фоточувствительности в ZnO для некоторых красителей и пигментов.

Краситель или пигмент	λ_{max} , мкм
Гематин	480 и 580
Гематопорфирин	420, 540, 575, 630
Карбоциновый	700
Пинацианол	620
Родамин В	560
Триафлавин	460
Фталоцианин магния	620, 680—690, 820—840
Хлорофилл	450 и 660—670
Эозиин	530
Эритрозин	540

В настоящее время в Советском Союзе разработан и освоен промышленный выпуск нескольких типов электрофотографических слоев (бумаг) на основе окиси цинка (табл. 2).

Применение в некоторых типах цинкоксидных слоев в качестве добавки сернистого кадмия и N-нитрозодефиниламина способствует повышению светочувствительности в видимой области спектра ZnO.

Большой вклад в создание отечественных электрофотографических слоев на основе окиси цинка внесли своими работами Н. Н. Маркевич, Э. А. Монтримас, Л. И. Ньюько, П. М. Подвигалкин, И. З. Плавина и др. [33, 34, 48, 49]. Этими авторами подобраны оптимальные соотношения между концентрацией ZnO и связующего вещества, исследована зависимость темновой и световой релаксации потенциала от концентрации

Таблица 2

Состав электрографических бумаг

	Бумага		
	ЭФМ-1, ЭФМ-2	ЭФО-1	ЭФО-2
Оксид цинка марки М-1, г	3	3	3
Поливинилбутираль, г	0.5 (17%)	0.5 (17%)	0.3 (10%)
Растворитель, мл:			
этиловый спирт (96%)	10	5	3.5
искокс	—	5	3.5
Золин, мг	—	10.3	12.1
Сульфид кадмия (желтый), г	—	0.1	0.1
Подложка	Писчая бумага № 1	Писчая бумага № 1	Электропроводная основа для ЭТБ

Примечание. ЭФМ-2 отличается наличием в суспензии ZnO примесей N-нитрозодиформиламина.

связующего вещества, исследована кинетика разрядки слоев, разработана методика сенсibilизации слоев органическими красителями и др.

Наряду с созданием селеновых и диноксидных электрофотографических слоев за последние годы достигнуты значительные успехи в разработке электрофотографических слоев на основе органических полупроводников. Здесь следует отметить впервые проведенные В. С. Мыльниковым [50] подробные исследования электрических и фотоэлектрических свойств некоторых органических полупроводников, представляющие большой интерес для электрофотографии.

Благодаря большому разнообразию органических полупроводников открываются широкие возможности создания электрофотографических слоев с заданными оптическими, электрическими, механическими и другими свойствами. Для слоев из многих органических полупроводников характерна хорошая прозрачность. Слои обладают высокими механическими свойствами, их легко нанести на подложки любой формы, можно сенсibilизировать фотоэффект в широкой области спектра, а также заряжать их как положительными, так и отрицательными зарядами и др.

Хотя электрофотографические слои на основе органических полупроводников и не нашли пока широкого практического применения из-за их низкой светочувствительности, но в этом направлении благодаря работам И. Б. Сидаравичуса и др. [27] сделан существенный шаг вперед. Удалось создать электрофотографические слои на основе органических полимерных полупроводников, приближающиеся по своей светочувствительности к селеновым. При этом показано, что с помощью органических красителей светочувствительность слоев из поливинилкарбазола, фенилацетиленида меди и полиинов может быть увеличена в 3—4 раза; введение электронно-акцепторных примесей может увеличить светочувствительность на несколько порядков.

На основе органических полимеров Л. Н. Винокуровой, С. Г. Гренишиным и Ю. А. Черкасовым впервые разработаны принципиально новые «солнечно-слепые» электрофотографические слои для вакуумной ультрафиолетовой области спектра [26].

Формирование электростатического изображения на слоях

Изготовленные слои селена, окиси цинка или другого фотоувствительного высокоомного вещества сами по себе еще не обладают электрофотографической светочувствительностью, т. е. их в отличие от галогено-

серебряных фотографических материалов после изготовления в принципе можно хранить на свету. Электрофотографическую светочувствительность высокоомные фотополупроводниковые слои приобретают лишь после электризации, в результате которой внутри полупроводникового слоя создается электрическое поле. Электризацию производят при неактивном свете и непосредственно перед использованием.

Если слой подвергнуть электризации, а затем спроецировать на него оптическое изображение, то при этом образуется так называемое скрытое электростатическое изображение.

Существует много разных методов электризации высокоомных слоев: трением, в поле коронного разряда, электронным пучком и поляризацией в электрическом поле и др. Однако наиболее широкое практическое применение в электрофотографии получил метод электризации в поле коронного разряда.

Суть метода коронного разряда состоит в осаждении на поверхность электрофотографического слоя положительных или отрицательных ионов, образовавшихся при ионизации молекул (атомов) газа под действием электрического поля. В качестве коронирующих электродов применяют тонкие металлические проволоки или иглы.

Вольт-амперным характеристикам электризаторов посвящены работы Н. М. Гальвидиса, Ю. А. Кирснера, В. И. Гайдялиса, В. И. Монтримаса и др. [51—53], а зависимость тока электризатора от влажности воздуха исследована А. И. Вильчинкас, С. Ф. Рашковским, И. И. Скучас [54].

В процессе электризации потенциал слоя возрастает и достигает своего предельного значения. В работах В. И. Гайдялиса [55], а также других авторов [56—61] приведены подробные исследования кинетики тока зарядки, зависимостей предельного потенциала от напряжения короны и толщины слоя, потенциала слоя от давления воздуха.

Электрофотографический режим характеризуется рядом специфических условий: запорными контактами, сильным электрическим полем, удалением равновесных носителей тока и др. В первом приближении электрофотографический слой можно уподобить плоскому конденсатору, диэлектрической средой в котором является высокоомный полупроводниковый слой, обладающий темновой и фотоэлектрической проводимостью, т. е. электрофотографический слой можно рассматривать как двойной слой электрических зарядов [62—66]. Одной обкладкой такого конденсатора является электростатический заряд, созданный в процессе электризации, а другой — заряд экранирования, образующийся на границе слой—подложка или в глубине слоя.

Электрофотографический слой после электризации представляет собой электрически нейтральную систему, внутри которой существует сильное электрическое поле. Это поле не является стационарным, и с течением времени его напряженность, а следовательно и поверхностный потенциал слоя, уменьшается, т. е. происходит разрядка слоя. Скорость разрядки слоя, а следовательно скорость уменьшения потенциала, или время релаксации потенциала будет разной в зависимости от того, хранится ли слой после электризации в темноте или подвергается освещению.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, реальные электрофотографические слои, особенно слои из окиси цинка, нельзя описать простой моделью двойного электрического слоя, т. е. моделью плоского конденсатора. Для объяснения сложных кривых фото-разрядки, экспериментально полученных на слоях ZnO, было введено представление об электрофотографическом слое из окиси цинка как объемно заряженной емкости [60]. Это представление нашло дальнейшее развитие в некоторых работах советских авторов [55, 63, 65].

Кинетику темновой и фоторазрядки электрофотографических слоев теоретически и экспериментально исследовали Ю. К. Вищакас, В. М. Фридкин, П. М. Подвигалкин, В. И. Гайдялис, Э. А. Монтримас, Ю. Н. Барулин, Ю. А. Черкасов и др. [63, 65, 67, 68]. Ими получены существенные результаты, имеющие важное значение для понимания механизма формирования электростатического изображения на слоях.

В указанных работах теоретически рассмотрена темновая релаксация потенциала [41] электрофотографических слоев, когда слой находится в неравновесных условиях и не выполняются условия нейтральности, получены формулы и рассчитаны кривые кинетики спада потенциала для ряда конкретных случаев, рассмотрена связь темновой релаксации потенциала электрофотографических слоев с зонной схемой полупроводника [68]. Установлено, что полупроводниковый слой может сохранять потенциал длительное время при комнатной температуре, когда ширина запрещенной зоны не меньше 0,75 эв (10 сек.) и вероятность термического возбуждения из локальных уровней и их концентрация достаточно малы. Если поверхностный заряд не полностью экранирован объемным, то высота барьера на контакте подложка—слой должна быть не меньше 1 эв. Туннельный эффект может быть в некоторых случаях только в начальной стадии кинетики спада потенциала в темноте (при освещении он практически не играет заметной роли) [65, 68, 69].

При освещении электрофотографического слоя активным светом генерация носителей тока в большинстве случаев происходит в тонкой приповерхностной области. Образовавшиеся носители тока под действием электрического поля перемещаются в слой.

Особенность фотопроводимости в электрофотографическом слое состоит в том, что напряжение, приложенное к слою, является нестационарным, уменьшается от максимального значения в темноте до минимального в конце фоторазрядки слоя. Неоднородность напряженности электрического поля по слою в процессе экспонирования оказывает большое влияние на кинетику фоторазрядки и обуславливает S-образную форму спада потенциала [70]. Исследованием кинетики фоторазрядки селеновых электрофотографических слоев установлено, что спад потенциала обладает инерционностью, определяемой дрейфом носителей через слой и прилипанием при освещении [62, 71—73].

Исследования кинетики спада потенциала электрофотографических слоев ZnO при освещении показали, что наблюдаемые явления могут быть объяснены влиянием межкристаллических барьеров и их модуляцией электрическим полем и светом, а также отчасти прилипанием и рекомбинацией носителей тока [55].

На кинетику спада потенциала влияют условия генерации носителей тока. Если носители тока создаются в приповерхностном слое (сильно поглощающийся свет), то фоторазрядка определяется в основном дрейфом носителей одного знака. Если носители генерируются в объеме слоя, то фоторазрядка обусловлена носителями обоих знаков.

Мы здесь не будем останавливаться на интересных исследованиях В. М. Фридкина, Э. И. Адировича и др. [67, 74] по кинетике разрядки фотоэлектретов, а также на работах П. М. Подвигалкина и др. [75—77], посвященных исследованию систем полупроводник—диэлектрик. Отметим, что эти исследования представляют большой интерес для электрофотографии, особенно для создания электрофотографических систем с длительной «памятью».

Визуализация (проявление) электростатического изображения

Чтобы сделать электростатическое изображение видимым, его необходимо подвергнуть визуализации, т. е. проявлению. В электрофотографии

в настоящее время существует два пути визуализации: 1) непосредственно на поверхности электрофотографического слоя (или на слое диэлектрика) электрически заряженными порошками, а также с помощью термопластического слоя; 2) на экране электроннолучевой трубки и других регистрирующих устройств методами электрического считывания зарядов.

Методы визуализации электростатического изображения электрически заряженными порошками являются основными в электрофотографии, и им посвящено довольно большое число работ. Существующие в настоящее время методы проявления электрически заряженными порошками могут быть разделены на две большие группы: методы сухого и методы жидкостного проявления [9, 25, 78—88].

Наибольшее распространение из сухих методов проявления получили каскадное проявление, проявление пылевым облаком, проявление с помощью магнитной кисти и меховых валиков. Принципиальным различием между этими методами проявления является способ нанесения электростатических зарядов на поверхность частиц проявляющего порошка. В качестве электрофотографических проявителей служат порошки из естественных или синтетических смол, окрашенных красителями или другими веществами.

Работы в области электрофотографического проявления в нашей стране развивались в следующих основных направлениях: исследование механизма электрофотографического проявления, поиски новых методов проявления и усовершенствование существующих, исследование и выбор материалов для изготовления электрофотографических проявителей, разработка рецептуры проявителей, исследование кинетики электрофотографического проявления и др.

Успехи в области электрофотографического проявления, которые сыграли исключительно важную роль для создания отечественной электрофотографической аппаратуры, достигнуты в первую очередь благодаря работам А. Б. Дравина, И. И. Жилевича, К. М. Виноградова, С. И. Хотяновича, В. М. Фридкина, И. В. Авфилова, С. М. Неймана и др. [89—94]. В работах этих авторов рассмотрены многие вопросы проявления, и в данном обзоре вряд ли представляется возможным осветить их хотя бы даже в общих чертах.

Некоторые работы посвящены технологии изготовления проявителей и исследованию их свойств [94—106]. Рассмотрены новые трибоэлектрические ряды для каскадных проявителей, исследовано влияние прокрашивания на свойства проявителя, описана рецептура и технология промышленного производства каскадных электрофотографических проявителей, описана рецептура жидкостных, аэрозольных проявителей, проявителей с магнитной щеткой, исследованы свойства металлизированных носителей, исследован процесс измельчения порошков для проявителей, исследованы новые жидкостные проявители с кремнийорганической дисперсионной средой, создан и исследован оригинальный проявитель без носителя, обеспечивающий высокую скорость проявления и др.

Интересные теоретические и экспериментальные исследования проведены по кинетике электрофотографического проявления. Им посвящены работы В. М. Фридкина, И. В. Авфилова, И. И. Жилевича, К. М. Виноградова и др. [107—111].

Получены теоретические и экспериментальные зависимости оптической плотности порошкового изображения от времени проявления для жидкостных и других проявителей. Показано, что кинетика проявления зависит от концентрации проявителя, плотности заряда на поверхности слоя, дисперсности частиц проявляющего порошка и т. д. Кинетика проявления не только жидкостного, но и каскадного следует экспоненциальному закону. Время проявления с обращением при каскадном проявлении

больше, чем при позитивном процессе. Для проявителей без носителя предельная скорость проявления составляет ~ 500 м/мин.

Проявление электростатического изображения является важным звеном в электрофотографическом процессе. От него в конечном итоге зависит качество электрофотографического изображения и разрешающая способность процесса. Этому вопросу посвящены работы [83, 108, 112, 113], в которых показано, что разрешающая способность процесса зависит от дисперсности проявляющих порошков, метода проявления, концентрации проявляющего порошка, расстояния проявляющего электрода от поверхности слоя и др. Показано, что наиболее высокое разрешение можно получить на одних и тех же слоях при применении жидкостного и аэрозольного методов проявления; с ростом концентрации проявляющего порошка и уменьшением диаметра носителя качество изображения улучшается; разрешение почти в два раза уменьшается при переносе порошкового изображения с поверхности слоя на другую подложку.

Сенситометрия электрофотографического процесса

Очевидно, что успешное развитие электрофотографии, как и развитие обычного фотографического процесса, немыслимо без сенситометрических методов контроля. В электрофотографии к определению светочувствительности в отличие от обычного галодосеребряного фотографического процесса можно подходить двояко. Во-первых, светочувствительность электрофотографического процесса может быть определена на основании измерения оптических плотностей порошкового изображения, полученного на сенситограммах после их проявления, подобно тому как это имеет место в сенситометрии галодосеребряного фотографического процесса [114]. Во-вторых, светочувствительность электрофотографических слоев можно определить измерением электростатического потенциала на поверхности слоя, подвергнутого освещению.

Последний способ измерения светочувствительности присущ только электрофотографическому процессу. Он выгодно отличается своей простотой и точностью измерений, отражает фотоэлектрические свойства электрофотографических слоев и не связан с процессом визуализации электростатического изображения.

На рис. 1 приведены типичные кривые спада потенциала для селенового и цинкооксидного электрофотографических слоев в зависимости от количества освещения $E\tau$. Потенциал слоя может выражаться в относительных или абсолютных единицах. Кривые, приведенные на рис. 1, можно назвать характеристическими кривыми электростатического изображения. Оценивая скорость изменения потенциала слоя при заданном количестве освещения, с помощью характеристической кривой можно определить величину общей светочувствительности, если на слой действовать спектрально неразложенным (белым) светом, или величину спектральной чувствительности, если на слой действовать монохроматическим излучением.

В ряде случаев в электрофотографии достаточно знать лишь сенситометрические характеристики слоев, чтобы оценить весь процесс получения изображения. Это может быть отнесено к получению видного изображения при электронном или оптическом считывании потенциального рельефа.

Однако при визуализации электростатического изображения электрически заряженными порошками или с помощью термоэлектрических пленочных сенситометрических параметров, полученных для электрофотографических

слоев, не могут уже характеризовать процесс получения изображения в целом. Здесь возможны два пути решения задачи.

Во-первых, от сенситометрических характеристик электрофотографических слоев перейти к сенситометрическим характеристикам всего процесса в целом.

Во-вторых, как уже отмечалось, сенситометрические характеристики всего процесса в целом непосредственно определить на основе результатов визуализации электростатического изображения (например, измерение оптической плотности порошкового изображения).

Для того чтобы перейти от сенситометрических характеристик слоя к сенситометрическим характеристикам всего процесса в целом, необходимо получить еще одну зависимость, определяющую связь между по-

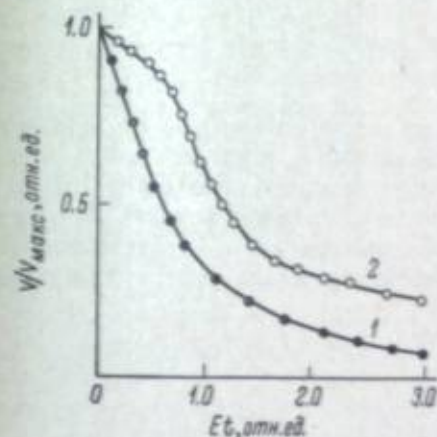


Рис. 1. Характеристические кривые фоторазрядки для селенового (1) и цинкооксидного (2) электрофотографических слоев.

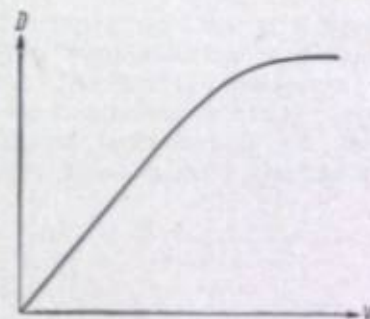


Рис. 2. Характеристическая кривая процесса проявления.

тенциалом слоя и оптической плотностью порошкового изображения. В качестве примера на рис. 2 приведена типичная кривая, представляющая зависимость оптической плотности отпечатка (порошкового изображения) от величины потенциала, т. е. $D=f(V)$. Эту кривую можно назвать характеристической кривой процесса проявления, или характеристикой воспроизведения плотностей.

От двух независимых характеристических кривых, представленных на рис. 1 и 2, можно расчетным путем перейти к характеристической кривой, выражающей зависимость между оптической плотностью порошкового изображения и логарифмом количества освещения (или количества освещения), т. е. к характеристической кривой всего процесса в целом. По своему смыслу такая характеристическая кривая не отличается от характеристической кривой, применяемой в галодосеребряном фотографическом процессе.

В настоящее время не существует единой методики и специальных стандартов для определения сенситометрических характеристик электрофотографического процесса, хотя вопросам сенситометрии посвящено много работ [115—126].

К. С. Ляжков, С. Г. Гренишин, К. М. Виноградов, Ю. А. Черкасов [115, 117, 127] впервые определили общую светочувствительность электрофотографических слоев и сопоставили ее с общей светочувствительностью обычных галодосеребряных фотографических материалов в единицах ГОСТа, а также определили фотографическую широту и коэффициент контрастности. В табл. 3 приведены данные о светочувстви-

Таблица 3

Характеристики основных типов электрофотографических слоев

Вещество слоя	Метод визуализации	Светочувствительность, в ед. ГОСТ по $0.2 + D_0$	γ	L_{max}
Se	Сухое проявление	1—2	1.3	1.2
Se+Te	»	8—10	1.3	1.2
Se+Te	Электрохимическое считывание	150—200	—	—
Se+Te	Электродинамическое считывание	25—50	—	—
ZnO	Жидкостное проявление	0.01—0.1	1.0	1.4
ZnO (сенсibilизация озонном)	То же	0.1—5	0.9	1.4
CdS	Сухое проявление	0.2—0.9	—	—

тельности и других сенситометрических характеристиках (коэффициенте контрастности, максимальной фотографической широте) для основных типов электрофотографических слоев при разных методах визуализации.

Наряду с общей светочувствительностью не менее важной сенситометрической характеристикой является спектральная чувствительность. Исследованиям спектральных характеристик слоев посвящены работы

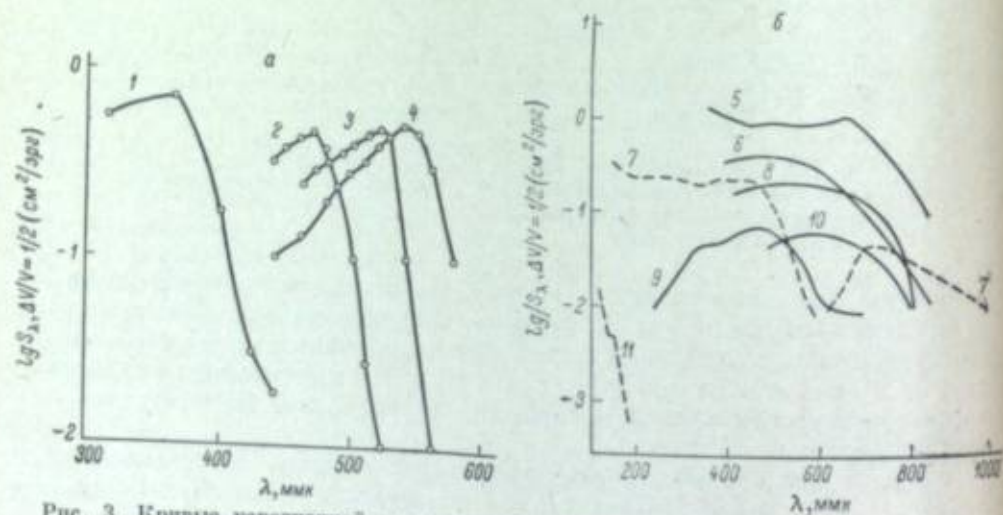


Рис. 3. Кривые усредненной спектральной чувствительности для различных слоев: а — ZnO (1); ZnO, сенсibilизированная трипфлавином (2), эритрозином (3), флуоресцеином (4); б — CdSe (5); Se—Te (6); Se (аморф.) (7); Se (крист.) (7'); Se—As (8); CdS (9); Sb₂S₃ (10); полистирол (11).

[25, 127—133]. С. Г. Гренишиным и Ю. А. Черкасовым [22, 35] впервые измерена спектральная чувствительность электрофотографических слоев (селеновых, окиси цинка, селен-теллурических и др.) в абсолютных энергетических единицах в широкой области спектра — от ультрафиолетовой до близкой инфракрасной (рис. 3).

В работах [35, 127] показано, что спектральная чувствительность селеновых слоев существенным образом изменяется в результате термической обработки. С увеличением времени термической обработки при электризации в поле отрицательной короны наблюдаются постепенное повышение спектральной чувствительности S_{λ}^{-} и смещение ее границы в сторону длинных волн.

Если на поверхности слоя нанести положительные заряды, то с увеличением времени термической обработки светочувствительность S_{λ}^{+} в коротковолновой области спектра падает, а в длинноволновой возрастает.

При введении в селеновые слои теллура их светочувствительность в видимой области спектра значительно возрастает. С увеличением концентрации теллура светочувствительность S_{λ}^{+} возрастает в фиолетово-синей и зелено-желтой зонах спектра. Одновременно появляется заметная светочувствительность в красной области спектра — вплоть до 870 мкм.

Электрофотографические слои обладают значительной светочувствительностью не только в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, но и способны регистрировать также ионизирующее излучение: α -частицы, протоны, электроны, γ -излучение и рентгеновское излучение. При этом практическое применение нашли электрофотографические слои, особенно селеновые слои, а также слои из PbO для получения изображения в рентгеновской области спектра.

А. И. Каминкас, Р. А. Кавалюскас и др. [134, 135] показали, что селеновые электрофотографические слои в рентгеновской области спектра по чувствительности не уступают обычным галогеносеребряным рентгеновским пленкам. В рентгеновской области спектра чувствительность электрофотографических слоев существенным образом зависит от толщины слоя, а также жесткости рентгеновского излучения. Установлено, что для определенной жесткости рентгеновского излучения имеется своя оптимальная толщина слоя, при которой достигается максимальное значение чувствительности.

За последние годы в электрофотографии большое внимание уделялось вопросам повышения светочувствительности процесса. В настоящее время убедительно показано, что в электрофотографии при визуализации электростатического изображения электрически заряженными порошками практически достигнута предельная светочувствительность. Последнее связано с двумя обстоятельствами.

Во-первых, в электрофотографии отсутствует такой эффективный источник усиления скрытого изображения, как например процесс проявления в галогеносеребряной фотографии. В электрофотографии процесс проявления электростатического изображения с помощью электрически заряженных порошков сводится к простому электростатическому взаимодействию между зарядами электростатического изображения и зарядами на поверхности частиц проявляющего порошка.

Во-вторых, в электрофотографии наличие запирающего электрофотографического электростатическим слоем ионов на поверхности электрофото-

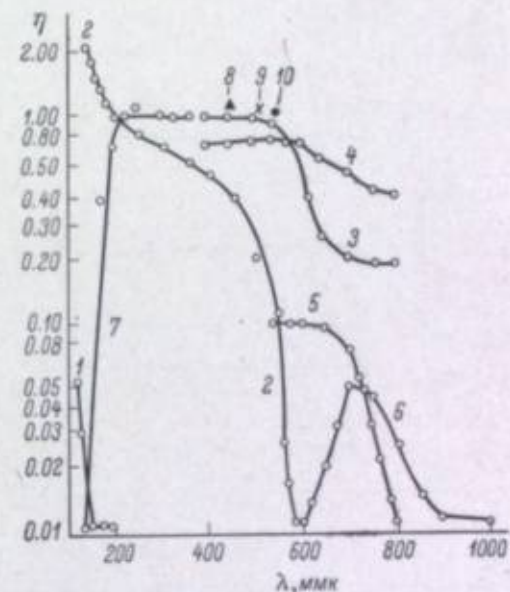


Рис. 4. Спектральное распределение абсолютного квантового выхода разных типов электрофотографических слоев.

Полистирол (1); Se (аморф.) (2); Se—Te (3); As₂Se₃ (4); Sb₂S₃ (5); Se (крист.) (6); ZnO (7) и ZnO, сенсibilизированная трипфлавином (8), флуоресцеином (9), эритрозином (10).

графического слоя, ограничивает квантовый выход в слоях, а следовательно и светочувствительность.

Квантовый выход фотоэффекта в электрофотографических слоях подробно исследовался в работах С. Г. Гренишина и Ю. А. Черкасова [64]. Этими авторами экспериментально показано, что квантовый выход фотоэффекта в электрофотографических слоях ZnO, селеновых слоев и слоев на основании других стеклообразных композиций в видимой области спектра, а также в близкой ультрафиолетовой не превышает единицы (рис. 4).

В нашей стране выполнены теоретические и экспериментальные исследования свойств электрофотографических слоев при разных выдержках и освещенностях, а также температурах [34, 54, 74, 81, 136—146].

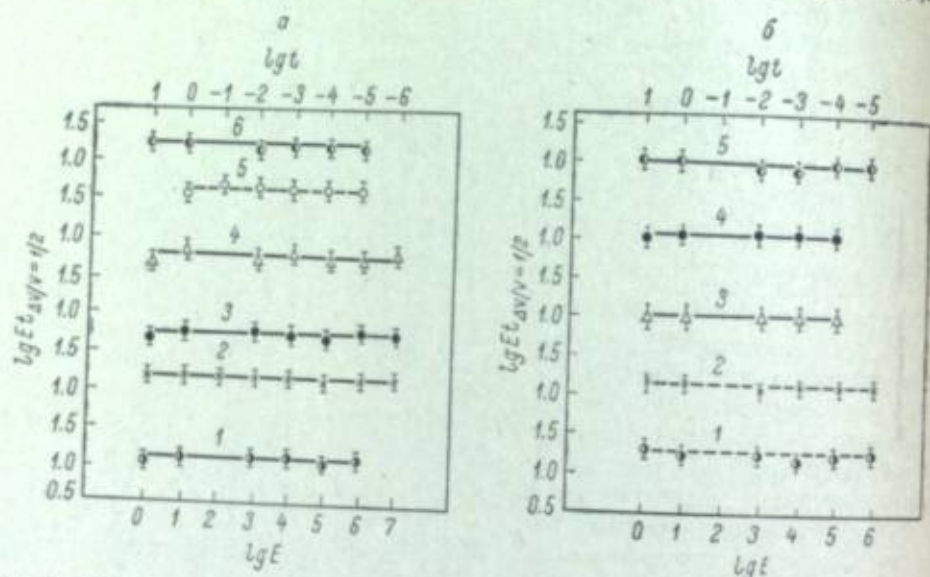


Рис. 5. Изопотенциальные кривые для селеновых (а) и цинк-оксидных (б) электрофотографических слоев при разных температурах и длинах волны.

а — ν^- , интегральный свет, температура (в °С): —50 (1), 20 (2), 50 (6); 20 (4) ($\lambda=436$ мкм); ν^+ , интегральный свет, 20 (5).
б — ЭФО-2, интегральный свет, температура (в °С): —50 (1), 20 (2); ЭФО-1, интегральный свет, 50 (3); 20 (3) ($\lambda=546$ мкм); 20 (4) ($\lambda=365$ мкм).

В работе С. Г. Гренишина, Н. Б. Захаровой и Ю. А. Черкасова на основании тщательно выполненных экспериментов было установлено существование закона взаимозаменяемости для электрофотографических слоев независимо от типа полупроводника (органический или неорганический), методики изготовления (в связующей среде или без нее), температуры, знака электризации и длины световой волны в широком интервале изменений освещенностей и выдержек. Отклонение от взаимозаменяемости может возникнуть, если при построении изопотенциальных кривых не учитывать темновой релаксации потенциала и кинетики фоторазрядки слоев (рис. 5).

Большой интерес представляют теоретические рассуждения Э. И. Адировича и В. М. Фридкина условий выполнения взаимозаменяемости в электрофотографии и форм изопотенциальных кривых. Выведена связь между формами изопотенциальных кривых и люкс-амперных характеристик. Показано, что взаимозаменяемость может иметь место в том случае, если люкс-амперная характеристика линейная.

Как мы уже отмечали, существенная отличительная особенность электрофотографических слоев по сравнению с галогосеребряными

фотографическими материалами состоит в том, что первые для получения изображения можно использовать многократно. Это связано с тем, что электронные процессы, происходящие в электрофотографических слоях под действием света, являются обратимыми. Многократное применение одного и того же слоя для получения изображения является большим преимуществом электрофотографии. Однако это преимущество при практическом использовании слоев имеет и некоторое ограничение.

Электрофотографические слои, применяемые многократно для получения изображения, подвергаются повторным воздействиям электризации, экспонированию и др. В результате этого постепенно происходит ухудшение электрофотографических свойств слоев — уменьшается предельный потенциал слоя, увеличивается темновая релаксация потенциала, изменяется светочувствительность процесса, увеличивается остаточный потенциал и др. Это явление в электрофотографии принято называть «усталостью».

Наиболее обстоятельные исследования явления «усталости» электрофотографических слоев выполнены Л. И. Ньюко, А. С. Тауратисом и др. [30, 147—151]. Показано, что явление усталости наблюдается как на селеновых электрофотографических слоях, так и на слоях из окиси цинка. При этом «усталость» электрофотографических слоев может быть обратной и необратимой, т. е. первоначальные электрофотографические свойства слоев могут восстанавливаться или не восстанавливаться после прекращения повторных воздействий электризации и экспонирования.

Степень «усталости» электрофотографических слоев зависит от технологии изготовления слоев, условий электризации (длительности электризации и плотности тока электризации), выбора материала подложки и др.

Некоторые применения электрофотографии и электрофотографические приборы

В течение последних десяти лет как в Советском Союзе, так и за рубежом сделано много попыток применения электрофотографии в различных областях науки и техники — полиграфии, оптике, радиоэлектронике, репродукционной технике, аэрофотографии, рентгенографии, электронно-вычислительных машинах, в судостроении для разметки деталей и др.

Однако к настоящему времени большие успехи в практическом использовании электрофотографии достигнуты лишь в нескольких областях — копирование с оригиналов и микрофильмов технической документации, чертежей, информационных материалов и т. п., изготовление печатных форм для малой полиграфии, регистрация выходных данных счетно-решающих машин, фотографирование в рентгеновской области спектра. При этом следует заметить, что практическое применение пока нашел электрофотографический процесс с визуализацией электростатического изображения электрически заряженными порошками.

Преимущество электрофотографического процесса может быть реализовано лишь в том случае, если применять специально созданную электрофотографическую аппаратуру.

В зависимости от способа использования электрофотографических слоев существует две группы аппаратуры:

- 1) приборы с однократным использованием светочувствительного слоя, обеспечивающие окончательное получение изображения непосредственно на электрофотографическом слое;
- 2) приборы с многократным использованием светочувствительного слоя, обеспечивающие получение проявленного (порошкового изображения) на нечувствительных материалах (бумаге, кальке, металлической фольге и т. п.) путем его переноса.

В приборах первой группы обычно используют слои из окиси цинка, нанесенные на бумажную подложку, а в приборах второй группы — селеновые слои на металлических подложках. Электрофотографические приборы этих двух групп отличаются не только применяемыми электрофотографическими материалами, но и принципиальными схемами получения проявленного изображения.

В нашей стране в области электрофотографического приборостроения достигнуты существенные успехи. За сравнительно короткий промежуток времени создан ряд оригинальных конструкций приборов [94, 152—160], некоторые из них выпускаются серийно промышленностью, причем с каждым годом выпуск электрофотографической аппаратуры возрастает, появляются новые приборы с улучшенными техническими характеристиками, расширяется сфера практического использования электрофотографии (табл. 4).

Таблица 4

Характеристики основных типов электрофотографических приборов

Аппарат	Вид оригинала	Размер оригинала, мм	Масштаб копирования	Производительность	Примечание
ЭМА-1	Прозрачный, листовой	203 × 288	1:1	20 копий/мин.	Слой ZnO
ЭМА-2	То же	210 × 300	1:1	20 копий/мин.	То же
ЭУ-1	Микрофильм	35	10*	6,5 м/мин.	" "
ЭПО-2	То же	35, 70	9*	6,6 м/мин.	" "
ЭРА	Экран светолучевого осциллографа И-700	—	—	10—160 мм/мин.	" "
ЭРА	Листовой	594 × 841	2:1, 1:3	1 копия/3 мин.	Слой Se
ЭРА-2	Листовой, сброшюрованный	594 × 841	1:1, 1:1.42	3 копии/4 мин.	То же
ЭРА-М	То же	594 × 841	2:1, 1:2.5	1 копия/5,5 мин.	" "
Электрофильм	Микрофильм	24 × 36	11:1	1 копия/2 мин.	" "
Электрофот	То же	24 × 36	11:1	1 копия/4,5 мин.	" "
ВЭГА-66	Листовой, сброшюрованный	329 × 250	1:0.68	—	" "
ВЭГА-66	Листовой, сброшюрованный	297 × 420	1:1, 1:1.2	1 копия/1.4 мин.	" "
ЭРА-Ф	Микрофильм	24 × 36	1:1	1 копия/3 мин.	" "
ЭРА-Ф	Листовой, сброшюрованный	297 × 420	11:1	—	" "
РЭМ-600	Листовой	Шарика 630	1:1	1 офсетная форма/8 мин.	" "
РЭМ-420/600	То же	" 600	1:1	2,5 м/мин.	Слой Se
РЭМ-400КД	Листовой, сброшюрованный	300 × 420	1:1, 1:0.7	1 м/мин.	То же
РЭМ-400М	Позитивный микрофильм	24 × 36	0.2:1, 1:0.92	6 копий/мин.	" "
ЭФКА	Листовой	Шарика 310	13.5:1, 1:1	4 м/мин, 0.6 м/мин.	" "

Заключение

Подводя итоги краткому обзору, мы приходим к заключению, что электрофотография в настоящее время стала важной областью научной и прикладной фотографии.

Несмотря на то что электрофотографический процесс по основным параметрам (светочувствительности, разрешающей способности, фотографической широте и др.) уступает галоидосеребряному, это не является препятствием к практическому применению электрофотографии, в первую очередь в тех областях науки и техники, где не требуются высокая светочувствительность и высокое качество изображения, в частности в репрографии, рентгенографии, для записи выходных данных счетно-решающих устройств, изготовления печатных форм и др. Более того, в этих областях электрофотография имеет существенные преимущества

перед галоидосеребряным фотографическим процессом: большая скорость получения снимков, низкая их стоимость и др.

В настоящее время в электрофотографии, как нам кажется, существуют две наиболее важные проблемы. Первая касается исследования возможности создания электрофотографических слоев на основе органических полупроводников и полупроводниковых композиций. В перспективе открываются возможности создания электрофотографических слоев с наперед заданным комплексом свойств: высокой электрофотографической чувствительностью и определенным спектральным распределением чувствительности, длительной памятью, термостабильностью, высокой прозрачностью и низкой стоимостью. Вторая проблема — разработка новых методов визуализации, позволяющих реализовать высокое разрешение (до 1000 мм), даваемое самими электрофотографическими слоями.

Успешное решение указанных проблем позволит значительно расширить область практического применения электрофотографии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. F. Carlson, Amer. патент № 2297691 (April, 1939).
- [2] Electrophotography, Electronic Eng., 1944, 17, 199, 145.
- [3] N. Langer, Electrophotography, Radio News Eng. Dep., 1944, 32.
- [4] N. Langer, Radio News Eng. Dep., 1944, 32, 22.
- [5] H. L. Gilson, PSA J., 1945, 2, 175.
- [6] Печать без давления. Полигр. прозв., 1946, № 3—4, стр. 29.
- [7] Новая полиграфическая техника. Полигр. прозв., 1947, № 6, стр. 28.
- [8] C. F. Carlson, Eng. a. Sci., 1948, 12, 11.
- [9] R. M. Schaffert, C. D. Oughton, JOSA, 1948, 38, 991.
- [10] P. S. Selenyi, Nature, 1948, 161, 522.
- [11] J. S. Wilson, U. S. Camera, 1948, 2, 46.
- [12] T. A. Dickinson, Sci. a. Mechanics, 1949, 10, 175.
- [13] Б. Барщевский, В. Лавренчик, ЖТФ, 1950, 20, 1273.
- [14] C. D. Oughton, Glass Industry, 1949, 30, 662.
- [15] И. И. Жилевич, Е. Л. Немировский. Электрофотография, Изд. «Искусство», М., 1961.
- [16] C. F. Carlson. History of Electrostatic Recording, Xerography and Related Processes. Ed. J. H. Dessauer, H. E. Clark. The Focal Press, London—N. Y., 1965, p. 15.
- [17] Р. Н. Кеек, JOSA, 1951, 41 (1), 53; 1952, 42 (4), 221.
- [18] Ю. А. Черкасов, Оптико-мех. пром., 1962, 12, 23.
- [19] О. М. Бондаренко, Тез. докл. III конф. по вопросам электрофотогр., Вильнюс, 1967, стр. 18.
- [20] Ю. А. Черкасов, В. М. Любни, Г. А. Федорова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 7, 12, 4, 259.
- [21] И. А. Лимантов, Ю. А. Черкасов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 449.
- [22] С. Г. Гренишин, Ю. А. Черкасов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 433.
- [23] Ю. А. Черкасов, В. М. Любни, И. И. Волосевич, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 227.
- [24] Л. Г. Винокуров, П. М. Подвигалки, Тез. докл. III конф. по вопросам электрофотогр., Вильнюс, 1967, стр. 29.
- [25] Q. S. Young, H. G. Greig, RCA Rev., 1954, 15 (4), 469.
- [26] Л. Н. Винокурова, С. Г. Гренишин, Ю. А. Черкасов, Тез. докл. III конф. по вопросам электрофотогр., Вильнюс, 1967, стр. 29.
- [27] Г. И. Рыбалко, И. Б. Сидаравичус, Тез. докл. конф. по физ. основам электрофотогр., Вильнюс, 1966, стр. 43.
- [28] Б. К. Ракаускас, Ю. К. Ракаускас, Тез. докл. III конф. по вопросам электрофотогр., Вильнюс, 1967, стр. 81.
- [29] R. M. Schaffert, C. D. Oughton, JOSA, 1948, 38, 991.
- [30] С. Г. Гренишин. Электрофотография. Сб. ст. ЦБТИ ЛенСНХ, 1958, стр. 6.
- [31] С. Г. Гренишин, Е. С. Платунов, П. М. Подвигалки. Оптико-мех. промшл., 1958, 1, 5.
- [32] П. М. Подвигалки. Электрофотография. Сб. ст. ЦБТИ, ЛенСНХ, 1958, стр. 32.

- [33] С. Г. Гренишин, П. М. Подвигалкин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1960, стр. 251.
- [34] С. Г. Гренишин, П. М. Подвигалкин, Оптико-мех. пром., 1959, 5, 26.
- [35] С. Г. Гренишин, Ю. А. Черкасов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 121.
- [36] Х. Х. Закина, С. М. Нейман, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 239.
- [37] А. С. Таурайтис, Н. К. Шикторов, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 260.
- [38] Н. М. Гальвидис, В. И. Гальвидене, М. Г. Кривиченко, А. Г. Клис, А. С. Таурайтис, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 108.
- [39] В. Г. Бойцов, Б. А. Тазенков, Оптико-мех. пром., 1965, 32, в. 5, 35.
- [40] И. Д. Набитович, Я. В. Волощук, Я. И. Стецива, Тез. докл. III конф. по вопросам электрофотогр., Вильнюс, 1967, стр. 69.
- [41] Ю. П. Белукеене, Н. М. Гальвидис, Л. И. Портенко, Тез. докл. III конф. по вопросам электрофотогр., Вильнюс, 1967, стр. 17.
- [42] А. И. Каминскас, Р. А. Ковалеускас, Ю. К. Ракаускас, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 227.
- [43] Р. А. Ковалеускас, А. К. Каминскас и др., в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 120.
- [44] А. И. Каминскас, А. П. Янулис, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, 204.
- [45] В. П. Балтрушайтене, Э. А. Монтримас, Вопросы радиоэлектроники, 1964, стр. 12, вып. 25.
- [46] Е. К. Пудейко, А. Н. Теренин, ЖФХ, 1949, 23, 676.
- [47] Е. К. Пудейко, ДАН СССР, 1959, 129, 303.
- [48] Н. К. Маркевич, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 135.
- [49] Л. И. Ньюнко, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 192.
- [50] В. С. Мильников, в сб.: Элементарные фотопроцессы в молекулах, Москва, 1965.
- [51] Н. М. Гальвидис, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 189.
- [52] Ю. А. Кирснер, С. М. Медведева, в сб. Технология получения изображений и материалы в электрофотографии, М., 1964, стр. 31.
- [53] В. И. Гайдялис, Э. А. Монтримас, А. А. Шатас, Тез. докл. по физ. основам электрофотогр., Вильнюс, 1966, стр. 19.
- [54] А. И. Вильчинкас, С. Ф. Рашковский, И. И. Скучас, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 202.
- [55] В. И. Гайдялис, Н. Н. Маркевич, Э. А. Монтримас, Физические процессы в электрофотографических слоях ZnO, Вильнюс, 1968.
- [56] T. J. Elder, J. Appl. Phys., 1962, 33 (9), 2804.
- [57] W. Maenhout Van Vorst, F. Van Graeunest, Phys. Stat. Sol., 1964, 5, 357.
- [58] D. C. Hoesterey, J. Appl. Phys., 1962, 33 (3), 992.
- [59] K. Nauffe, J. Phot. Sci., 1962, 10 (6), 321.
- [60] J. A. Amick, RCA Rev., 1959, 20 (4), 753.
- [61] W. Ruppel, H. J. Gerritsch, A. Rose, Helv. Phys. Acta, 1957, 30, 495.
- [62] W. Jaenicke, V. Lorenz, Z. Electrochem., 1961, 65, 493.
- [63] П. М. Подвигалкин, Автореф. канд. дисс. ЛГУ, 1962.
- [64] С. Г. Гренишин, Ю. А. Черкасов, ФТТ, 1964, 6, 2831.
- [65] Ю. А. Черкасов, Автореф. канд. дисс., ГОИ, 1964.
- [66] В. М. Фридкин, Ю. Н. Барулин, ФТТ, 1963, 5, 1523.
- [67] В. М. Фридкин, Физические основы электрофотографического процесса. Изд. «Энергия», М.—Л., 1966.
- [68] В. И. Гайдялис, Э. А. Монтримас, А. Ю. Матуленис, Ю. К. Вишкас, Лит. физ. сб., 1966, 2, 263.
- [69] В. В. Поспелов, Автореф. канд. дисс., МГУ, 1966.
- [70] Э. А. Монтримас, В. И. Гайдялис, А. А. Пожела, Лит. физ. сб., 1966, 6, 569.
- [71] A. Li, R. J. Regensburger, J. Appl. Phys., 1963, 34, 1730.
- [72] Ю. К. Вишкас, В. И. Гайдялис, Э. А. Монтримас, Э. В. Поугос, Лит. физ. сб., 1966, 6, 1, 77.
- [73] Ю. Н. Барулин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 369.
- [74] Э. И. Адирович, ФТТ, 1961, 3, 2048.
- [75] П. М. Подвигалкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 461.

- [76] П. М. Подвигалкин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 216.
- [77] П. М. Подвигалкин, В. В. Поспелов, А. К. Пустовойт, Н. И. Стройкини, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 225.
- [78] R. M. Schaffert, C. D. Oughton, JOSA, 1948, 38, 991.
- [79] С. Г. Гренишин, Опт.-мех. пром., 1956, 23, в. 3, 65.
- [80] C. J. Joung, H. G. Greig, RCA Rev., 1954, 15, 469.
- [81] В. М. Фридкин, А. И. Делова, Т. Н. Герасимова, Х. С. Билялетдинов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 286.
- [82] J. Huges, J. Phot. Sci., 1959, 7, 128.
- [83] К. М. Виноградов, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 44.
- [84] K. A. Metcalfe, J. Sci. Inst., 1955, 32, 74.
- [85] K. A. Metcalfe, R. Wright, J. Sci. Inst., 1956, 33, 194.
- [86] J. T. Bickmore, M. Levi, J. Hall, Phot. Sci. Inst., 1960, 4, 37.
- [87] W. D. Bolton, W. E. Goetz, Phot. Eng., 1956, 7, 137.
- [88] J. T. Bickmore, R. E. Hanford, H. E. Clark, Phot. Sci. Eng., 1959, 3, 210.
- [89] Ф. А. Анохин, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 7.
- [90] И. В. Анфилов, В. М. Фридкин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 155.
- [91] О. В. Громов, В. А. Гордеев, И. И. Жилевич, А. С. Паужа, А. А. Сухий, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 72.
- [92] А. Б. Дравин, в сб.: Проявление изображений в электрофотографии, М., 1964, стр. 3.
- [93] С. И. Хотякович, И. С. Шилейкене, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 127.
- [94] С. М. Нейман, Электрофотографическая копировальная аппаратура непрерывного действия отечественного производства, Л., 1966.
- [95] В. И. Белов, Д. Н. Лежнин, Н. Ф. Олофинский, А. Г. Токарев, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 16.
- [96] А. Я. Дадюнова, Ф. А. Анохин, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 43.
- [97] Г. В. Зоткина, Е. С. Карманова, Л. С. Король, З. Б. Островский, И. С. Шилейкене, Я. Б. Шумкаускас, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 46.
- [98] Ж. В. Кириллова, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 49.
- [99] В. Б. Ланенис, В. А. Шарунич, К. Э. Бернотас, Л. С. Король, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 56.
- [100] Ю. П. Окулов, Тез. докл. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 73.
- [101] И. С. Шилейкене, Г. В. Паулаускаене, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 102.
- [102] С. И. Хотякович, в сб.: Изготовление малоформатных офсетных печатных форм методом электрографии, М., 1962, стр. 48.
- [103] Ж. В. Кириллова, А. Б. Дравин, в сб.: Изготовление малоформатных офсетных печатных форм методом электрографии, М., 1962, стр. 81.
- [104] З. П. Агениайте, В. Б. Ланенис, С. И. Хотякович, И. С. Шилейкене, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 142.
- [105] К. М. Виноградов, в сб.: Электрофотография, Л., 1958, стр. 14.
- [106] К. М. Виноградов, Оптико-мех. пром., 1962, 1, 2.
- [107] И. В. Анфилов, В. М. Фридкин, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 32.
- [108] И. В. Анфилов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 220.
- [109] И. В. Анфилов, В. М. Фридкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 367.
- [110] И. И. Жилевич, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 45.
- [111] К. М. Виноградов, С. Г. Гренишин, И. А. Лимантов, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 27.
- [112] Ф. А. Анохин, Тез. докл. III конф. по вопросам электрогр., Вильнюс, 1967, стр. 7.
- [113] К. М. Виноградов, И. А. Лимантов, Оптико-мех. пром., 1965, 9, 7.
- [114] Ю. Н. Гороховский, Т. М. Левенберг, Общая сенситометрия. Изд. «Искусство», М., 1963.

- [115] К. М. Виноградов, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 44.
- [116] К. М. Виноградов. Автореф. канд. дисс., ГОИ, Л., 1967.
- [117] К. С. Ляликов, О. Г. Попова, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 17.
- [118] В. М. Фридкин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 33.
- [119] Ю. Е. Корнешко, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 56.
- [120] W. E. Vixby, P. J. Andrus, L. E. Walkup, Phot. Eng., 1954, 3, 195.
- [121] H. E. Clark, R. J. Vyverberg, H. E. Elliot, 1. Intern. Kongr. Reprographie-Electrophot. Verf. Köln., 1963, Verlag O. Helwich, Darmstadt, 1964, S. 131.
- [122] И. З. Плавина, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 12.
- [123] Ю. А. Зибуц, Л. И. Ньюнко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 352.
- [124] Э. А. Мешкуотене, И. З. Плавина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 380.
- [125] И. З. Плавина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 145.
- [126] K. Nauffe, J. Phot. Sci., 1962, 10, 321.
- [127] С. Г. Гренишин, Ю. А. Черкасов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 229.
- [128] J. H. Dessauer, J. R. Mott, H. Bogdanoff, Phot. Eng., 1955, 6, 250.
- [129] H. J. Reuter, Phot. Eng., 1956, 7, 73.
- [130] И. И. Жилевич, Б. И. Казинаусене, Л. И. Ньюнко, И. З. Плавина, Э. М. Сувейздис, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 25.
- [131] Б. М. Бигелите, Н. Н. Маркевич, Вопросы радиоэлектроники, 1964, сер. XII, 25, 87.
- [132] В. П. Балтрушайтене, Э. А. Монтримас, Вопросы радиоэлектроники, 1964, сер. XII, 25, 95.
- [133] Н. Н. Маркевич, Опико-мех. пром., 1963, 4, 18.
- [134] Р. А. Кавалюскас, А. И. Каминкас, П. П. Садаускас, А. П. Янулис, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 120.
- [135] А. И. Каминкас, Р. А. Кавалюскас, Ю. К. Ракаускас, Вопросы радиоэлектроники, 1964, сер. XII, 25, 47.
- [136] В. М. Фридкин, И. С. Желудев. Фотоэлектреты и электрофотографический процесс. Изд. АН СССР, М., 1960.
- [137] Ю. К. Вищакас, И. И. Жилевич, Ю. А. Зибуц, Л. И. Ньюнко, И. З. Плавина, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 211.
- [138] С. Г. Гренишин, Н. Б. Захарова, Ю. А. Черкасов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 179.
- [139] Н. М. Подвигалкин, Опт. и спектроскоп., 1960, 8, 1, 146.
- [140] А. Ю. Матуленис, Ю. К. Вищакас, Лит. физ. сб., 1965, 4, 1, 95.
- [141] И. З. Плавина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 1, 57.
- [142] Э. И. Адирович, В. М. Фридкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 233.
- [143] Э. И. Адирович, В. М. Фридкин, ДАН СССР, 1961, 138, 820.
- [144] В. М. Фридкин, ДАН СССР, 1962, 134, 825.
- [145] В. М. Фридкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 36.
- [146] В. М. Фридкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 304.
- [147] Л. И. Ньюнко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 297.
- [148] А. С. Таурайтис, В. П. Лищинкас, Сб. докл. Всес. совещ. по свойствам селена, теллура и их применению, Баку, 1963, стр. 157.
- [149] Л. И. Ньюнко, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 192.
- [150] С. А. Таурайтене, А. С. Таурайтис, Вопросы радиоэлектроники, 1964, сер. XII, 25, 21.
- [151] Л. И. Ньюнко, М. В. Пархоменко, Вопросы радиоэлектроники, 1966, сер. XII, 6, 23.
- [152] С. В. Аршвила, О. В. Громов, И. И. Жилевич, Л. С. Король, Я. Х. Крумберг, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 246.
- [153] К. А. Рамазанов, З. А. Радина, Б. Т. Печенкин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 290.
- [154] В. Скачков, Военный зарубежник, 1967, 1, 67.
- [155] Интероргтехника-66, 1—15 сентября 1966 г., Каталог выставки, М.
- [156] Е. С. Борисевич, И. И. Жилевич, М. Г. Литвин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1965, стр. 254.
- [157] В. М. Фридкин, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 33.
- [158] О. В. Громов, В. А. Гордеев, И. И. Жилевич, А. С. Паужа, А. А. Сухий, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 72.
- [159] Е. С. Борисевич, Н. М. Гальвидис, И. И. Жилевич, А. С. Паужа, М. И. Рутнаускас, в сб.: Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959, стр. 84.
- [160] К. А. Рамазанов, Произв.-техн. бюлл., 1962, № 11.

С. А. БОНГАРД, В. С. ЧЕЛЬЦОВ

ЦВЕТНАЯ ФОТОГРАФИЯ И КИНЕМАТОГРАФИЯ

Исторический обзор

Развитие способов получения цветных фотографических изображений, основанных на трехцветной теории цветового зрения, идеи которой впервые были высказаны великим русским ученым М. В. Ломоносовым в 1756 г., уходит далеко в глубь истории фотографии [1].

Первые попытки получения цветного фотографического изображения относятся к самому раннему периоду развития фотографии. В 1810 г., т. е. еще до начала работ Нисефора Ньепса в 1813 г. и Жака Луи Дагерра в 1824 г., профессор Зеебек в Иене открыл, что хлорид серебра принимает все цвета спектра солнечного света, если спектр получен на слое этого вещества [2].

В XIX столетии усилиями ученых и изобретателей были заложены научные основы цветной фотографии и предложены технические средства осуществления цветных фотографических процессов [3, 4].

Так же, как и в других разделах фотографии, дореволюционная Россия не стояла в стороне от развития цветной фотографии. Из изобретателей того времени прежде всего следует указать фотографа Э. И. Коаловского, который применил принцип расщепления светового потока полупрозрачными зеркалами и в 1889 г. получил патент на фотокамеру для трехцветной съемки. Эта камера демонстрировалась на выставке в Киеве в 1901 г. [5].

В начале 1870 гг. был организован в Петербурге кружок любителей-фотографов, членом которого состоял Д. И. Менделеев. На базе этого кружка было организовано Русское фотографическое общество. Доклад о цветной фотографии был заслушан на первом съезде русских деятелей фотографии в 1896 г. О цветной фотографии делал доклады К. А. Тимирязев [6].

Около 1900 г. И. Ф. Усагиным [7] — изобретателем трансформатора, талантливым самоучкой-лаборантом Физического института Московского университета, блестящим экспериментатором — был значительно усовершенствован интерференционный метод получения цветных фотографических изображений Липпмана. Именно им, И. Ф. Усагиным, выполнены цветные фотографии спектров демонстрировал профессор Габриель Липпман (с разрешения И. Ф. Усагина) на Международном конгрессе в Париже в 1900 г.

В 1910—1914 гг. С. О. Максимович разработал и совместно с фотографом С. М. Прокудин-Горским запатентовал трехцветный аддитивный способ цветной кинематографии, по основным показателям цвето-воспроизведения значительно более совершенный, чем появившиеся

в то время английские и американские, как правило, двухцветные системы («Синемаколор» и др.) [8]. Съемку вели на кинолентку двойной ширины, причем была создана оптическая система, дающая два совершенно одинаковых изображения, снятых одновременно и с одной точки. Так как одновременное получение трех цветоделенных изображений связано с большими техническими трудностями, то красное и зеленое зональные изображения снимали одновременно, а синее снимали вслед за зеленым. Для проекции применяли особый кинопроекторный аппарат, снабженный специальным объективом с тремя зональными светофильтрами.

Общество «Биохром», созданное для использования указанного патента, выпустило в 1910—1914 гг. несколько короткометражных цветных фильмов. Однако широкого применения это выдающееся по тому времени изобретение не имело.

Большого развития работы русских изобретателей не могли получить, так как в дореволюционной России фотографическая промышленность практически почти отсутствовала, хотя открытие первой фабрики броможелатиновых пластинок относится к 1880 г.

В первые годы после Великой Октябрьской революции немногочисленные исследования и опыты по получению цветных киноизображений велись в Ленинграде и Москве, однако серьезное развитие этих работ началось в 30-х годах, вместе с интенсивным ростом отечественной промышленности и кинематографии [9—13]. Начиная с 1930 г. проводят поиски новых путей решения цветофотографической проблемы, в особенности для кинематографии, в которой фактор цвета имеет исключительно важное значение.

В 1928—1935 гг. вели работы по использованию аддитивных способов получения цветных изображений. В 1928—1931 гг. Н. Д. Анощенко разработал и осуществил двухцветный процесс, по которому в 1931 г. был снят хроникальный цветной фильм «Праздник труда». В НИКФИ были проведены исследования по трехцветному аддитивному процессу. Эти работы показали, что подобные процессы (по крайней мере с получением отдельных цветоделенных изображений) малоперспективны для производства и демонстрации кинофильмов. После неудачных попыток использовать для кинематографии аддитивный метод работа стала развиваться в направлении осуществления субтрактивных способов. Первые серьезные практические успехи были достигнуты в создании и освоении двухцветного виражного способа [14—23], работы над различными вариантами которого велись в 1930—1938 гг. в НИКФИ, на киностудиях «Детфильм» («Межрабпромфильм»), «Мосфильм» и Киевской киностудии (Н. Н. Агокас, А. Н. Иорданский, Ф. Ф. Проворов, Д. М. Золотницкий и др.).

В киномеханической и химико-фотографической промышленности были разработаны специальные камеры для двухцветной съемки, копировальные аппараты, проявочные и виражные машины, кинолентки и красители. Печать цветоделенных изображений проводили на двустороннюю пленку, после чего позитивные изображения вирировали в соответствующий цвет. Этот способ был промышленно освоен и применен при создании ряда цветных кинофильмов. Особой популярностью пользовался фильм «Груня Корнакова» (1936 г.), в котором возможности двухцветного цветофотографического процесса были использованы с большой эффективностью.

Однако даже при высокой степени технического совершенства двухцветные способы цветной кинематографии в принципе не могут обеспечить достаточно правильной передачи всех цветов и оттенков [24]. Поэтому в Советском Союзе ведутся работы по созданию почти одновременно (с 1929 г.)

нию трехцветных субтрактивных способов цветной кинематографии как с применением трех цветоделенных негативов и гидротипного процесса, так и в плане создания многослойных материалов: по способу с обесцвечиванием красителей серебром (Г. И. Арбузов, Д. М. Самойлович, Л. К. Крупенин) [25—29] и по принципу цветного проявления.

Следует заметить, что по времени начало этих исследований совпадает с периодом интенсивных работ ряда фирм во многих странах по изысканию практически осуществимых трехцветных субтрактивных процессов (трехцветный гидротипный процесс «Техвиколор», многослойная пленка Гаспара, несколько позднее — первая пленка с последовательным цветным проявлением «Кодахром», работы «Агфа» над способом «Пантахром» и трехслойной цветной пленкой и др.).

Из отечественных работ для целей цветной фотографии следует упомянуть также разработку материалов для способа с вирированием частичных позитивов, получаемых на бумаге со съёмным слоем, а также для способа Карбро с применением набора пигментных бумаг (В. А. Уваров, К. Л. Мертц, Н. А. Тихомирова).

Из аддитивных способов цветной фотографии был разработан способ получения фотопластинок с трехцветным нерегулярным [30—32] растром из окрашенных крахмальных зерен и частиц синтетических смол, но практического применения эти способы не получили вследствие известных недостатков растровых методов.

В середине 30-х годов выявились два наиболее перспективных способа цветной фотографии: с применением трехслойных светочувствительных материалов, обрабатываемых по принципу цветного проявления, и гидротипный способ печати цветных фильмов. Естественно, что исследованию именно этих двух процессов, промышленное применение которых продолжает расширяться и в настоящее время, были посвящены основные научные и технологические работы. Преимущественное развитие при этом получили процессы на трехслойных светочувствительных материалах как более универсальные и перспективные.

Цветная фотография на трехслойных материалах с цветным проявлением

Создание и практическое применение трехслойных светочувствительных материалов для различных целей цветной фотографии и кинематографии стало возможным лишь в результате комплексного освоения на современных предприятиях достижений технологии производства и обработки светочувствительных слоев, органической химии, физической химии фотографического процесса, теории цветной репродукции, техники кинематографа.

Без серьезного научного и технического прогресса во всех этих областях невозможно развитие современного цветофотографического процесса.

Работам во многих из указанных областей науки и техники (синтез органических соединений, технология изготовления фотографических эмульсий, теория фотографического цветовоспроизведения и фотографическая метрика, техника кинематографа, технология обработки светочувствительных материалов) были посвящены специальные доклады на Совещании, публикуемые в этом сборнике. В связи с этим в представляемом докладе мы ограничиваемся рассмотрением лишь тех работ, которые непосредственно относятся к специфике трехслойных цветофотографических материалов и процесса цветного проявления.

Труды Р. Фишера [33, 34], открывшего в 1912 г. цветное проявление, «забытое» затем более чем на 20 лет, давали лишь общее представление о принципах этого процесса. Естественно, что работы, направленные на

практическое применение способа, начались с исследования его химической сущности и принципиальных особенностей.

Первые работы в этом направлении, проведенные А. Е. Порай-Кошицем в ЛХТИ, К. С. Ляликовым с сотр. (ГОИ, ЛИКИ, «Ленфильм»), Г. И. Арбузовым и В. С. Чельцовым в НИКФИ, дали возможность осуществить цветное проявление обрабатываемых пленок еще в 1941 г. и разрешить принципиальные вопросы негативно-позитивного процесса в 1944 г. [35—40].

Наиболее интенсивные исследования в этом направлении развернулись в первые послевоенные годы. Б. А. Порай-Кошиц, А. Е. Порай-Кошиц [41], М. И. Крылова [42], Г. И. Арбузов и В. С. Чельцов [43, 44] идентифицировали красители и обосновали суммарную реакцию образования индоанилиновых и азометиновых красителей при цветном проявлении с соответствующими компонентами.

В серии исследований, осуществленных в НИКФИ (А. Н. Иорданский, В. С. Чельцов, С. А. Бонгард и др.), был определен выход красителя по серебру при цветном проявлении светочувствительных слоев с различными компонентами [45—51]. Он приближался к четырем в случае компонент, не имеющих заместителя в месте сочетания, и к двум при наличии такого заместителя (например, в *п*-положении к гидроксильной группе нафтаола-1). Была показана строгая зависимость между количествами образующихся при проявлении красителя и серебра, различная для разных компонент, установлено соотношение сенситометрических характеристик изображения из красителя и серебряного изображения.

К. С. Ляликов с сотр. [52] количественно проследили уменьшение выхода красителя при повышении содержания сульфита в проявителе. В. И. Успенским с сотр. [53—56] исследована кинетика цветного проявления, установлены ее особенности при изменении свойств и концентрации недиффундирующих компонент в светочувствительном слое.

Принципиальное значение имели работы, установившие двухступенный характер процесса цветного проявления [57]. Здесь следует напомнить, что до 1948 г. почти общепризнанной считалась схема процесса, предложенная Тэллом, согласно которой для образования красителя при цветном проявлении необходимо *одновременное присутствие* окислителя (экспонированный галогенид серебра), проявляющего вещества и компоненты.

А. В. Бромберг и Ю. Б. Виленский [58] экспериментально показали образование при цветном проявлении красителя на некотором удалении от микрокристалла галогенида серебра, причем, начиная с некоторого минимального размера кристалла, зона образования красителя от него не зависела, т. е., по-видимому, определялась длительностью жизни реакции продуктов окисления проявляющего вещества. Это убедительно подтвердили опыты К. С. Ляликова [59], показавшего образование семихинона как первичного продукта окисления проявляющего вещества, и факт образования красителя на некотором удалении от места окисления и факт образования семихинона в качестве первичного продукта окисления проявляющего вещества. Примерно в то же время образование семихинона в качестве первичного продукта окисления диэтил-*л*-фенилендиамина было показано А. С. Хейнманом [60]; им же были выявлены условия его стабилизации.

После указанных работ двухступенный (точнее, многоступенный, со многими превращениями продуктов окисления проявляющего вещества) механизм цветного проявления был многократно подтвержден [61], что сыграло важную роль в решении ряда технологических вопросов. Это же позволило выяснить природу контактной вуали в цветных многослойных пленках и особые случаи вертикального эффекта цветного проявления в таких пленках [62—63].

Разработаны и нашли практическое применение недиффундирующие восстановители для предотвращения некоторых видов цветной вуали [64—66]. Так как число проявляющих веществ, применимых для цветного проявления, довольно ограничено и, как показали обширные исследования, проведенные в основном зарубежными авторами [61], трудно ожидать изыскания вещества, обладающего значительно лучшим комплексом свойств, чем ныне применяемые, совершенствование цветофотографических процессов этого типа шло в первую очередь по пути создания соответствующего состава элементарных слоев и условий их оптимального сочетания в многослойной пленке.

Т. В. Абрамовой и В. С. Чельцовым [67, 68], а также Г. П. Фаерманом и Н. Н. Шишкиной [69] было показано, что в отношении характеристик получаемого изображения галогеносеребряные эмульсии при цветном проявлении подчиняются принципиально тем же закономерностям, что и при черно-белом проявлении. Важной особенностью является лишь то, что факторы, влияющие на сенситометрические свойства слоя за счет изменения кроющей способности серебра, как показано в указанных выше работах [48, 50], не оказывают влияния на характеристики изображения, построенного из красителей.

Вторым существенным фактором является использование этих эмульсий в многослойной пленочной системе, что рассматривается несколько ниже.

Таким образом, при выборе эмульсий для многослойных цветных фотографических материалов учеными и инженерами-технологами с успехом использовались общие принципы создания эмульсий с заданными фотографическими свойствами (В. С. Чельцов, Л. М. Богданов, И. М. Клинский, А. Н. Иорданский, Ю. Б. Виленский, М. И. Барро, Н. Е. Чеботарева, Л. В. Гречко и др.).

Оптическая сенсibilизация эмульсий элементарных слоев цветной пленки представляет собой особую и весьма сложную задачу не только потому, что нужно обеспечить весьма эффективное очувствление эмульсии к строго определенной спектральной зоне, но и из-за особенностей сенсibilизации галогенида серебра в присутствии компонент цветного проявления и некоторых специфических веществ, вводимых в цветофотографические слои.

Огромная по объему и весьма эффективная работа химиков по синтезу оптических сенсibilизаторов для цветных фотоматериалов отражена в публикуемой в настоящем сборнике статье А. И. Киприанова и И. И. Левкоева (см. стр. 99).

Здесь мы лишь кратко отметим исследования процесса и механизма сенсibilизации эмульсий в присутствии недиффундирующих компонент, которые, как показано Е. В. Столяровой [70, 71], имеют свойство в заметных количествах адсорбироваться на галогениде серебра.

Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев с сотр. [72—80] выявили закономерности влияния недиффундирующих компонент на оптическую сенсibilизацию фотографических слоев. Этому же вопросу была посвящена работа З. И. Грацианской и Ю. Н. Гороховского [81, 82], где рассмотрены и другие поверхностно-активные вещества. В результате этих и нескольких других работ [83] установлены принципы оптимального сочетания оптических сенсibilизаторов и компонент цветного проявления различного строения в цветофотографических галогеносеребряных слоях, что способствовало целеустремленному изысканию и синтезу этих веществ, созданию научно обоснованной технологии их применения.

Вводимые в эмульсионные слои недиффундирующие компоненты, образующие при цветном проявлении красители изображения, во многом определяют свойства цветофотографических материалов и эффективность

процесса цветного проявления [61, 84, 85]. Создание методов исследования и изучения свойств компонент при применении их в фотографических слоях явилось важной предпосылкой синтеза цветных компонент и разработки технологии их применения.

Как известно, с первых шагов создания в СССР многослойных цветных кинофотоматериалов для закрепления компонент в эмульсионных слоях использовался предложенный Шнейдером принцип придания им недиффундируемости путем введения в молекулу алифатического остатка, содержащего в цепи не менее 12 атомов углерода. Этот принцип успешно используется и в настоящее время. По-видимому, практическое отсутствие диффузии таких веществ определяется не столько длиной молекулы, сколько ее коллоидно-химическим взаимодействием с желатиной, с образованием частиц вытянутой формы. В пользу этого свидетельствует работа Б. В. Дерягина, С. М. Леви и В. С. Кольцова по исследованию аномальной вязкости желатиновых растворов с цветными компонентами [86].

Значительную сложность представляет оценка активности цветных компонент. Обширными исследованиями, проведенными в основном в НИКФИ, была показана необходимость комплексной оценки этой важнейшей цветофотографической характеристики и разработаны соответствующие как фотографические, так и физико-химические методы: определение выхода красителя по серебру [45—51], изучение кинетики проявления с различными компонентами при оценке ее по разным сенситометрическим показателям [87—91], по величине энергии активации процесса цветного проявления (С. П. Шарланджиев, В. С. Чельцов), по осциллографической характеристике (Г. П. Сенников) и др. С применением этих методов проведено сравнительное исследование многих веществ различного строения [92—95].

Работами советских ученых внесен существенный вклад в исследование зависимости спектральных характеристик красителей, образующихся при цветном проявлении, от особенностей строения компонент. Подробно исследованы практически важные классы красителей: индоанилиновые — производные нафта-1, фенола и др.; азометиновые — производные пиразолона-5, производные анилидов ароматических кислот и др. (И. И. Левкоев, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турицина, Б. С. Портная, Н. И. Широкова, В. С. Чельцов, Т. Г. Ткаченко, М. В. Крашениникова, Н. С. Спасокукоцкий и др.) [96—108].

Были разработаны методы и проведены исследования стабильности цветного изображения на многослойных пленках в зависимости как от строения красителей, так и от различных технологических факторов получения изображения (И. М. Фридман, К. Ф. Еременко, В. И. Шерберстов, В. С. Чельцов, Н. И. Кириллов и др.) [109—112].

Исследованы с целью применения в многослойных пленках компоненты, дающие при цветном проявлении стабильные в темноте азиновые красители, а также вещества, оказывающие диспергирующее действие на образующиеся в слоях азометиновые желтые и пурпурные красители (И. В. Александров) [113—115].

Наряду с использованием общих достижений в синтезе фотографических эмульсий и разработкой технологических регламентов получения элементарных светочувствительных слоев проведены важные работы, связанные с особенностями цветофотографических материалов как многослойных систем, а также с возможностями создания оптимальных комплексов пленок для осуществления многоступенчатого цветофотографического процесса.

И. М. Клинский, Ю. Б. Виленский и др. [116—119] исследовали особенности применения галогеносеребряных эмульсий в многослойных

пленках. В результате изучения диффузии продуктов окисления проявляющих веществ, а также оптических сенсibilизаторов в эмульсионных слоях [83, 63—66] были найдены эффективные меры для снижения влияния некоторых факторов, ухудшающих цветоделение, и устранения контактной вуали. Изучена и установлена сравнительная эффективность применения коллоидно-серебряных фильтровых слоев и желтых фильтровых красителей в многослойных пленках (В. М. Уварова, З. К. Авербух, И. М. Килинский, А. Н. Иорданский) [120—122].

Подробными исследованиями многих авторов показана зависимость резкости изображения и разрешающей способности пленок от структуры элементарных слоев, их взаимного расположения в пленке и в комплексе пленок при многоступенчатом процессе, указаны пути совершенствования этих свойств цветных кинопленок (А. Н. Иорданский, И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, М. И. Барро, С. А. Бонгард, П. Х. Прусс) [123—129].

Многочисленные, весьма сложные технологические вопросы исследованы и решены при разработке и производственном освоении конкретных сортов цветных кинофотопленок и фотобумаг [116, 122, 130—135].

Естественно, что создание современных цветных фотографических процессов было бы невозможно без глубоких исследований вопросов цветопередачи, спектральных и структурных свойств многослойных фотографических материалов (в частности, в связи с эффектом взаимного влияния слоев), разработки метрики цветофотографического процесса и соответствующей измерительной аппаратуры. В эту область науки и техники советскими учеными внесен весьма значительный вклад. Этим вопросам посвящены специальные доклады Л. Ф. Артюшина (стр. 244) и Ю. Н. Гороховского (стр. 183), поэтому здесь ограничимся лишь упоминанием крупных работ, проведенных большими коллективами исследователей — в Ленинграде под руководством Ю. Н. Гороховского, в Москве — под руководством Н. Д. Нюберга, Н. С. Овечкиса, Л. Ф. Артюшина, Г. С. Баранова, Л. К. Крупенина, Н. Ф. Семеновича.

Огромную роль сыграли исследования и разработка процессов химико-фотографической обработки многослойных кинофотоматериалов под руководством Н. И. Кириллова, С. М. Антонова, В. Я. Михайлова, Е. А. Иофиса и других в Москве, Ю. Н. Гороховского, И. Б. Блюмберга, Г. П. Фаермана с сотрудниками в Ленинграде. Эти работы заложили научно обоснованные принципы технологии обработки цветных кинофотоматериалов и явились важным вкладом в развитие цветных фотографических процессов, прогресс которых возможен лишь при комплексном решении вопросов создания светочувствительных материалов и способов их обработки. Многочисленные работы в этой области рассматриваются в докладе И. Б. Блюмберга и Н. И. Кириллова. Обширная библиография статей советских авторов приведена в обзоре В. С. Чельцова и А. Н. Иорданского [5].

Сколько-либо широкое развитие цветной фотографии и кинематографии было бы немислимым без создания мощной технической базы химико-фотографической промышленности по производству кинофотоматериалов и химических веществ для этой цели, высокоорганизованных современных предприятий и лабораторий по химико-фотографической обработке цветных пленок и печати цветных фильмов, киностудий, приспособленных для съемки цветных фильмов. Это явилось результатом большого внимания Советского государства, целеустремленных усилий крупных коллективов рабочих, инженеров, ученых, творческих работников кинематографа.

Промышленное производство цветных многослойных пленок было освоено в СССР в 1947 г. при научном и организационно-техническом

руководстве В. С. Чельцова, Л. М. Богданова, А. Н. Иорданского, И. Д. Головатенко, М. И. Мумжиева, В. Д. Емельяненко, С. А. Верховца, Л. П. Крылова, Н. С. Овечкиса и др., и с тех пор идет их непрерывное совершенствование [12, 13]. В первую очередь это относится к пленкам для негативно-позитивного процесса.

Выпущенная в 1946 г. первая отечественная негативная кинопленка ДС-1, весьма близкая к пленкам «Афакolor» того времени, имела низкую светочувствительность, сильно затруднявшую ее применение для киносъемок, серьезные дефекты цветовоспроизведения. В короткий срок удалось повысить чувствительность этой пленки в несколько раз при одновременном повышении разрешающей способности (И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский) [130—131]. Пленки типов ДС-2, а затем ДС-3 и ЛН-3 длительное время являлись одними из наиболее чувствительных цветных пленок в мире. В паре с ними выпускались цветные позитивные пленки ЦП-2 и ЦП-3 обычного строения (З. К. Авербух и др.).

Параллельно велись весьма трудоемкие работы по улучшению цветопередачи. Существенным шагом явилось изыскание и введение в пленку пурпурной компоненты, дающей краситель с более благоприятным спектральным поглощением [136]. Однако кардинальное решение могло дать лишь применение цветовой коррекции, технически наиболее рационально решаемой путем введения внутреннего маскирования с окрашенными компонентами.

Принципиальные основы цветовой коррекции фотографических изображений, в том числе и путем внутреннего маскирования, хорошо обоснованы известными работами по теории цветной репродукции, которым посвящен специальный доклад Л. Ф. Артюшина и Н. С. Овечкиса. Однако создание комплекта пленок с внутренним маскированием поставило перед исследователями — химиками и фототехнологами ряд весьма трудных и принципиально новых задач, тем более что при этом преследовалась цель улучшения и остальных, не менее важных цветофотографических характеристик пленок.

На основе выполненных в основном в НИКФИ, НИОПиК и ДЗТОС работ И. И. Левкоева, И. А. Соловьевой, Б. С. Портной, Н. Ф. Турциной, И. В. Александрова, В. В. Климовича, В. С. Чельцова, Т. Г. Ткаченко в относительно короткие сроки удалось синтезировать и наладить производство практически пригодных окрашенных соединений на базе применяемых недиффундирующих компонент [137].

С использованием новейших достижений в синтезе фотографических эмульсий, их оптической и химической сенсibilизации и указанных выше результатов исследования цветных пленок как многослойных систем была решена очень сложная задача получения цветных пленок приемлемой светочувствительности (на уровне и выше достигнутого ранее для немаскированных пленок) с применением принципиально менее активных маскирующих компонент [122]. Уже в 1960—1961 гг. были выпущены первые негативные цветные пленки с маскированием и приспособленная для печати с них позитивная цветная пленка. Эти пленки непрерывно совершенствуются.

В настоящее время промышленность выпускает цветные негативные кинопленки ДС-5М и ЛН-5М и позитивную пленку ЦП-8Р. Негативные пленки имеют светочувствительность не ниже 32 ед. ГОСТ (при съемках соответственно при дневном свете и искусственном $sT_{\text{э}}=3200^\circ\text{K}$). Введенные в пленки маскирующие компоненты в значительной мере устраняют цветовые искажения, связанные с несовершенством спектрального поглощения красителей этой пленки. Некоторое снижение толщины

эмульсионных слоев и применение синего коллоидно-серебряного под-
слоя несколько улучшили резкостные характеристики.

На Химическом заводе им. В. В. Куйбышева освоено производство пленки ЛН-6 с чувствительностью не ниже 45 ед. ГОСТ.

Пленка ЦП-8Р (с обычным расположением слоев) содержит мелкозернистые эмульсионные слои, пурпурную и желтую компоненты с улучшенным спектральным поглощением красителей, некоторое количество фильтровых противореологических красителей. Это обусловило улучшение цвето-воспроизведения и в некоторой мере резкости и зернистости изображения по сравнению с пленками ранее выпускавшегося комплекта. Однако по этим показателям пленка ЦП-8Р еще существенно уступает лучшим зарубежным позитивным кинопленкам.

Неотъемлемой и весьма важной составляющей любого цветофотографического процесса, применяемого в профессиональной кинематографии, является стадия контрастирования негативов, без которой невозможно массовое тиражирование и широкий международный обмен фильмами.

Для советской кинематографии с ее огромной киносетью и соответственно большими тиражами фильмокопий эта задача всегда имела первостепенное значение [138]. В течение многих лет и в значительном объеме и в настоящее время контрастирование цветных негативов осуществлялось на пленке с обращением (фирма «ОРВО») [139].

Одноступенный процесс контрастирования по вполне понятным причинам принципиально должен вносить наименьшие цветовые и градиционные искажения при получении дубль-негативов, обеспечивать минимальную потерю резкости и меньшее ухудшение зернистости изображений. Однако серьезные недостатки фотографических свойств применяемой пленки и необходимость печати через основу не позволяли получить таким способом вполне удовлетворительные контрасты. В последнее время фирма «ОРВО» несколько улучшила характеристики пленки, что положительно сказывается на качестве продукции, однако требуемые результаты еще не достигнуты. При условии дальнейшего существенного улучшения свойств пленки (цветовая коррекция, фотографическая широта, баланс слоев по контрастности, резкость) этот способ контрастирования сохранит свое важное значение при массовом тиражировании кинофильмов.

Нам представляется, что при развитии ведущихся в настоящее время работ по обрабатываемым цветным пленкам, о которых будет сказано несколько ниже, в недалеком будущем нашей химико-фотографической промышленности может быть создана цветная обрабатываемая контрастная пленка с требуемыми свойствами.

Вместе с тем кинематография нуждается в наличии двухступенного процесса контрастирования. Это необходимо как при производстве фильмов, так и особенно при их массовом тиражировании с переводом из одного формата в другой. При все расширяющемся производстве фильмов различного формата (широкоформатные, широкоэкранные, кашированные, обычные 35-мм, 16-мм) эта задача приобрела особую остроту [140].

Совершенно понятно, что решающим фактором в таком процессе является применение пленки с исключительно высокими цветофотографическими характеристиками (весь комплекс градиционных, цветоделительных и структурных свойств пленок).

В СССР разработана (И. М. Килинский с сотр.) и выпускается промышленно маскированная цветная пленка [тип КП-4 (КП-4У)] для получения цветных промежуточных позитивов и контрастив. Эта пленка применяется в кинематографии.

К сожалению, по большинству показателей она не удовлетворяет предъявляемым высоким требованиям и во многом уступает единственной

выпускаемой за рубежом пленке этого типа, которая, кстати, также неидеальна.

В очень небольшом масштабе в СССР применялся процесс отдельного контрастирования (с получением трех черно-белых цветоделенных промежуточных позитивов и совмещенного контрастива) с использованием специально разработанных пленок — дубль-позитив цветоделительный и КП-3 (С. А. Бонгард, Л. Ф. Патрикеева). Этот технически более сложный процесс позволяет принципиально получать контрасты весьма высокого качества. Представляется, что его ограниченное применение (с использованием для совмещенного контрастива той же цветной пленки, что и при двухступенном цветном контрастировании), может быть перспективным, особенно в сочетании с гидротипным способом печати фильмов.

В целом отечественный комплект цветных пленок для негативно-позитивного кинематографического процесса, свидетельствующий о значительном прогрессе, достигнутом в этой области, далеко не полностью удовлетворяет современным требованиям, в первую очередь по качеству получаемых массовых фильмокопий. Результаты научных исследований, передовой зарубежной опыт показывают, что есть большие и реальные неиспользованные возможности его существенного совершенствования [141].

Здесь следует со всей определенностью подчеркнуть, что реальное осуществление такого совершенствования непосредственно связано с необходимостью резкого подъема техники и технологии изготовления светочувствительных материалов, а также качества применяемых химических веществ и сырья. Без этого не только невозможно достижение требуемых фотографических характеристик, но, что на данном этапе даже более существенно, и обеспечение необходимого технического состояния и стабильности свойств пленок.

В настоящее время институтом Госнихимфотопроект и его филиалами совместно с химическими заводами ведется работа по созданию нового, более совершенного комплекта цветных пленок для профессиональной кинематографии, внедрение которого в ближайшие годы должно обеспечить существенный прогресс в этой области.

При этом решаются задачи значительного повышения светочувствительности негативной пленки (в два раза по сравнению с ЛН-5), улучшения цветовоспроизведения, повышения резкости и снижения зернистости изображения.

Весьма перспективным для многих областей применения цветофотографического процесса является использование обрабатываемых кинофото-пленок. Достаточно назвать огромные области получения цветных диапозитивов для научных, просветительных, рекламных и любительских целей, телевидения, любительской и отчасти профессиональной кинематографии.

К сожалению, этой проблеме как в научном, так и в технологическом плане до самого последнего времени у нас уделялось совершенно недостаточное внимание.

Сегодня нашей промышленностью серийно выпускаются лишь 2 сорта обрабатываемой цветной пленки относительно невысокого качества. Процесс обработки сложен и длителен. Отсутствует современное оборудование для этой цели.

Среди большого числа научных работ по цветофотографическим процессам крайне незначительно число работ по процессам с обращением и материалам для этой цели. Вместе с тем опыт ведущих зарубежных фирм и показывает, что здесь имеются огромные возможности. Выпускаются и применяются пленки с высокими цветофотографическими свойствами

в огромном диапазоне светочувствительности — от 16 до 500 ед. ГОСТ (при особых режимах обработки — до 1000 ед. и более) — резко снижена продолжительность их обработки, механизированы процессы получения диапозитивов, фильмокопий и т. д.

Наша химико-фотографическая промышленность работает над тем, чтобы в ближайшее время выпустить несколько новых типов цветных обрабатываемых пленок (в широком диапазоне светочувствительности), в том числе и для печати дубликатов. Совершенно необходимо развитие этих работ и подкрепление их соответствующими научными исследованиями как по изучению особенностей процесса обращения на цветофотографических материалах, так и по созданию рациональных способов их обработки. В частности, очень важно исследовать и научиться управлять эффектами взаимного влияния элементарных слоев при цветном проявлении многослойных фотоматериалов, что может явиться одним из наиболее действенных путей цветовой коррекции обращенных изображений.

Для изготовления цветных фотографических отпечатков с негативов, полученных на цветных негативных фотопленках ДС-2 и ЛН-3, химико-фотографическая промышленность производит фотобумагу «Фотоцвет» нескольких типов, различающихся по строению, степени контрастности и характеру поверхности.

Для печати с маскированных цветных негативов, полученных на цветных негативных пленках ДС-5 и ЛН-5, средний и нижний слои которых содержат окрашенные (маскирующие) компоненты, промышленностью разработана модернизированная цветная фотобумага «Фотоцвет-4».

Свойства цветной фотобумаги улучшают путем применения новых цветных компонент, синтезируемых главным образом в НИОПиК, а за счет более совершенной технологии получения эмульсий и полива слоев (М. И. Шор, Я. З. Зайденберг, Е. С. Швайштейн).

Вместе с тем предстоит еще весьма значительные исследовательские и технологические работы для обеспечения выпуска фотобумаг, отвечающих современным требованиям цветной фотографии.

Весьма плодотворным развитием цветофотографического процесса на многослойных пленках явилось создание способа спектрально-зонального фотографирования [142—150]. Этот способ, позволяющий вести одновременное фотографирование в двух или трех зонах спектра и дающий возможность получения двухцветного или трехцветного изображения, позволил существенно расширить объем информации при фотографировании различных объектов. Принципиальные основы способа были заложены А. Н. Иорданским. Им же совместно с В. С. Чельцовым, В. А. Уваровым и М. А. Вышеславцевой разработан и введен в производство ассортимент соответствующих двухслойных, а затем трехслойных цветных спектрально-зональных материалов, находящихся все большее применение в различных областях народного хозяйства (лесное хозяйство, картография, геология).

Гидротипный способ печати цветных фильмов

Серьезные исследовательские работы в направлении создания гидротипного процесса производства цветных фильмов в СССР по времени начались несколько ранее, чем работы над процессами с применением многослойных пленок, обрабатываемых по принципу цветного проявления. Так как публикации, относящиеся к важнейшим элементам технологии этого сложного процесса, весьма скудны, вся разработка практически проводилась на основе исследований, проведенных советскими авторами. В начале 30-х годов в лаборатории цветного кино ГОИ и на кино-

студии «Ленфильм» (К. С. Ляликов, И. А. Черный, Л. П. Крылов, А. Я. Смирнов, В. Г. Рудаков и др.) были разработаны некоторые принципы и технологические приемы получения цветных фильмов путем гидротипной печати с матриц на галондосеребряных матричных пленках, а также сконструированы и испытаны некоторые варианты устройств для гидротипного переноса и другой аппаратуры. Эти работы сопровождались исследованиями условий образования рельефов в галондосеребряных матричных пленках, их крашения, процессов диффузии красителей и т. д. [151—154].

Результаты исследовательских и технологических работ были обобщены в написанной К. С. Ляликовым главе «Советский гидротипный метод» в переводе книги Клейна «Цветная кинематография» [155]. В этой же книге была помещена глава «Теория цветопередачи», написанная Н. Д. Ньюбергом. Следует подчеркнуть, что эти труды являлись важными отправными пунктами для широкого развития работ в области гидротипии и их значение сохранилось и в наши дни. На киностудии «Мосфильм» параллельно успешно разрабатывался оригинальный способ П. М. Мершина [155—158] с применением слоев хромированной желатины, на которой получали рельефы набухания. Проведен ряд цветофотографических исследований гидротипного процесса [159—168].

Совместными усилиями исследовательских организаций и предприятий была решена сложная техническая задача съемки цветных фильмов — получения трехцветных изображений без временного и пространственного параллакса. На заводе «Ленкинап» под руководством А. А. Мина была сконструирована и изготовлена камера для трехцветной киносъемки — ЦКС-1 (А. А. Мин, И. А. Черный, Ф. Ф. Проворов) [169—170]. В этой камере был применен специальный объектив и светорасщепляющая призма-куб, рассчитанные и изготовленные в ГОИ.

В НИКФИ совместно с кинопленочной промышленностью была разработана пленка для трехцветной съемки, в том числе кинопленка «Бипак».

Был разработан технологический процесс с получением матриц на слоях хромированной желатины, их окрашиванием и последовательным переносом красителей трех частичных изображений на бланк-фильм (П. М. Мершин, В. И. Успенский, А. Н. Иорданский, Ф. Ф. Проворов, Н. М. Спиридонова, В. М. Фридман).

В результате этих работ на отечественных киностудиях по гидротипному способу были выпущены короткометражные цветные фильмы [1936—1937 гг. — «Теремок», «Первая охота» («Ленфильм»), «Лиса и волк», «Завещание», «Сказка о рыбаке и рыбке» («Мосфильм»), по способу П. М. Мершина в 1944 г. — «Иван Никулин — русский матрос»].

Во время Великой Отечественной войны исследовательские работы по гидротипии были практически прекращены. Они возобновились в 1945—1946 гг. на несколько новой основе.

Быстрое развитие цветофотографических процессов на многослойных пленках, отличающихся известной универсальностью и простотой, не могло не сказаться на темпах разработки и определении перспектив применения гидротипного процесса получения цветных фильмов в нашей стране.

Существенно изменилось само назначение этого способа. В первый период разработки и применения гидротипный способ предусматривал специфические процессы на всех стадиях производства фильма: от съемки специальными камерами с получением трехцветных черно-белых негативов до массовой печати с матриц путем последовательного гидротипного переноса трех красителей на единую пленку — бланк-фильм.

С появлением многослойных цветных пленок, съемка на которые проводится кинокамерами обычного типа, отпала необходимость в приме-

нении громоздкого и сложного процесса съемки фильма специальными камерами со светорасщепительной системой.

В настоящее время съемки всех цветных фильмов осуществляются исключительно на многослойную пленку. Гидротипия сохранила свое значение лишь как способ массовой печати цветных фильмов с получением цветоделенных матриц печатью (выкопировкой) с цветного многослойного негатива.

В послевоенные годы разработка гидротипного процесса в СССР велась только в этом направлении.

Как известно, гидротипный процесс является многостадийным, включающим получение трех отдельных цветоделенных матриц (непосредственно печатью с цветного негатива или через промежуточные черно-белые цветоделенные контратипы), их окрашивание водорастворимыми красителями и последовательный перенос красителей с трех частичных матриц на одну пленку — бланк-фильм — с получением цветного позитива. Этот процесс более сложен, чем печать фильмокопий на позитивную многослойную пленку (даже с цветного контратипа), требует прецизионного копировального оборудования, точно отперфорированных малоусадочных пленок и специальной машины для осуществления гидротипного переноса со строгим совмещением цветоделенных изображений.

Однако гидротипный процесс имеет ряд технических достоинств, которые обуславливают его высокую технико-экономическую эффективность и определенные преимущества перед печатью на многослойные пленки. В гидротипии используются относительно простые по строению кинопленки, производство которых много дешевле и проще, чем цветных многослойных пленок. Возможен широкий выбор красителей распространяемых классов, что позволяет достичь высокого качества цветовоспроизведения и обеспечить значительно большую стабильность цветного изображения, чем при цветном проявлении. Чистосеребряная фонограмма высокого качества на гидротипной позитивной копии получается без введения специальных приемов раздельной обработки фонограммы и изображения.

Соответствующее развитие гидротипного способа при получении качественной фонограммы из красителей или введением магнитной фонограммы позволит применять для печати копий пленки, совершенно не содержащие серебра.

В условиях цветной кинематографии Советского Союза с большими тиражами фильмокопий и разветвленной киносетью применение гидротипного процесса печати цветных фильмов наряду с печатью на многослойные пленки является экономически эффективным и этот способ безусловно заслуживал промышленного развития.

Комплексная разработка промышленной технологии, аппаратуры, оборудования, кинопленок и красителей для гидротипного процесса с конца 40-х годов велась Лабораторией обработки цветных фильмов и НИКФИ с активным участием Конструкторского бюро киноаппаратуры, НИОПиК, кинопленочных химических заводов, в последнее десятилетие Казанского филиала Госнихимфотопроект, Ленинградской кинокопировальной фабрики.

Под руководством Н. Д. Ньюберга в ЛОЦФ были определены основные условия оптимальной печати (выкопировки) цветоделенных изображений с многослойного цветного негатива. В дальнейшем были подробно исследованы сенситометрические и цветоделительные характеристики промежуточных частичных зональных изображений, обеспечивающие достижение оптимальных результатов в сквозном гидротипном процессе (С. А. Бонгард, Л. Ф. Артюшин, Н. Ф. Семенова, Г. В. Дерстуганов), сформулированы требования и создана специальная пленка для получе-

ния цветоделенных промежуточных позитивов (С. А. Бонгард, Н. В. Пругло) [171].

Значительное число исследований посвящено физико-химическим основам гидротипного способа, его отдельных стадий. Важнейшую роль сыграли основополагающие исследования, проведенные в конце 40-х и начале 50-х годов видными учеными физико-химиками — К. В. Чмутым, А. В. Бромбергом, К. В. Астаховым с сотр., А. И. Рабиновичем [172—176]. Эти работы охватывали такие особо важные стороны процесса гидротипии, как набухание плоских желатиновых слоев, кинетика диффузии красителей в гелях желатины при крашении матриц и гидротипном переносе, образование рельефного изображения и др.

В дальнейшем вопросам количественного исследования диффузии красителей были посвящены проведенные в ЛИКИ и ЛИТМО работы И. Б. Блюмберга, И. М. Давыдкина и К. С. Амелиной с сотр. [177—186].

Советскими авторами подробно исследованы процессы, приводящие к образованию рельефных изображений на различных светочувствительных слоях, и сенситометрические характеристики этих слоев. С. Е. Тихонович изучены особенности образования рельефных матриц на слоях хромированной желатины [187, 188]. Сенситометрия этого процесса обстоятельно изучена В. А. Вейденбахом с сотр. [189].

В НИКФИ (С. А. Бонгард, М. И. Вилинская) исследовали закономерности образования рельефного изображения при экспонировании разнообразно окрашенных галюйдосеребряных эмульсионных слоев излучениями различного спектрального состава [190, 191]. На основе результатов этих исследований разработаны и выпускаются промышленностью матричные пленки как для печати с цветоделенных негативов, так и непосредственно с цветного негатива (С. А. Бонгард, М. И. Вилинская, Л. Ф. Патрикеева, З. Я. Куриша, В. П. Агатицкая) [192—197]. Влияние дополнительного засвечивания матричной пленки на характеристики рельефа и физическая сущность этого явления изучены Д. К. Балабухой, С. А. Бонгардом, Т. Н. Байкаловой, Г. В. Дерстугановым и др. [198—199].

Многочисленные исследования посвящены химико-фотографическим процессам обработки галюйдосеребряных эмульсионных слоев с образованием рельефных изображений.

Обстоятельные исследования процесса дубящего отбеливания (Б. Б. Беркенгейм, Т. Н. Байкалова и др.) выявили возможность широкого варьирования условий этого процесса с получением рельефов, имеющих различные характеристики [200—201].

Б. Б. Беркенгейм, Т. Н. Байкалова, Ю. А. Морозов (ЛОЦФ), Г. В. Дерстуганов, Е. Ф. Руль (Казанский филиал Госнихимфотопроект) подробно исследовали процесс дубящего проявления, установили важные особенности этого процесса и внесли существенный вклад в выяснение сущности его механизма [202—205]. Установлено влияние различных факторов на структурные и сенситометрические характеристики рельефов.

Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов провели обширные исследования многих проявляющих веществ на пригодность их для процесса дубящего проявления [206—212].

Все указанные работы позволили создать и промышленно осуществить технологию получения рельефных матриц для гидротипии. Существенные особенности рельефных изображений изучены в работах, непосредственно не связанных с гидротипным цветопечатным процессом (Г. П. Фаерман, С. С. Савко, Л. В. Красный-Адмони) [213—216].

Процесс крашения матриц, свойства окрашивающих растворов подробно исследовали в ЛОЦФ, НИКФИ и Казанском филиале Госнихимфотопроекта под общим руководством Н. С. Спасокукоцкого. Установлено влияние на процесс крашения одно- и двухвалентных катионов (Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тихонович, Н. М. Гуревич, М. П. Арбузова), поверхностно-активных веществ (Н. С. Спасокукоцкий, С. С. Лесникова), изучены особенности крашения смесями красителей (Н. С. Спасокукоцкий, Г. В. Величко), установлены условия оптимального составления красящих растворов и др. [217—221].

Факторы, влияющие на перенос красителей из матрицы в бланк-фильм, исследованы в ЛОЦФ Б. Б. Беркенгеймом, З. М. Чуевой, Л. А. Шахановой [222—224]. Установлены оптимальные условия проведения этой важнейшей стадии процесса. Б. Б. Беркенгеймом обобщены обширные исследования по дублированию тонких желатиновых слоев, имеющему большое значение для гидротипии [200].

Многостороннему изучению подвергали факторы, определяющие резкость изображений при гидротипном переносе. Разработаны оригинальные методики ее оценки [173, 174, 225—226]. Подробно исследовали и разрабатывали методы уменьшения боковой диффузии красителей на основе высказанных А. В. Бромбергом идей о введении в приемный слой бланк-фильма специальных веществ — фиксаторов. Этому вопросу посвящены обширные работы С. А. Бонгарда, Н. С. Спасокукоцкого, Б. Б. Беркенгейма, Н. В. Пругло, Л. А. Шахановой в НИКФИ и ЛОЦФ, исследования Г. Г. Бенningа, Г. Н. Нургалиевой и Г. В. Дерстуганова в Казанском филиале Госнихимфотопроекта [227—237].

На основе результатов этих исследований созданы и внедрены в производство новые сорта пленок — бланк-фильм с фиксаторами в слое (Б. Б. Беркенгейм, Л. А. Шаханова — тип 4, С. А. Бонгард, М. И. Виницкая, Н. В. Пругло — тип 5).

Физико-химические и химико-фотографические исследования процессов крашения матриц и гидротипного переноса опирались на систематические работы НИОПиК и ДЗТОС по синтезу гидротипных красителей и фиксаторов (И. В. Александров, А. Н. Евдокимов, Т. В. Краснова), завершившиеся изысканием веществ с требуемыми свойствами и осуществлением их производственного выпуска [238—240].

Промышленное осуществление гидротипного способа печати цветных фильмов немислимо без применения высокопрецизионной кинокопировальной аппаратуры, перфораторов и особенно машин для гидротипного переноса. Эти задачи разрешались в творческом содружестве работников ЛОЦФ и конструкторских бюро. Были созданы специальные копировальные аппараты (А. Г. Шмаков, И. С. Голод и др.) и перфораторы требуемой точности [241—243].

На основе многолетних исследований, проводившихся под руководством В. П. Забелло, А. Г. Шмакова, Ю. И. Шевченко, последовательно совершенствовалась конструкция гидротипных машин. К настоящему времени с использованием оригинальных идей коллектива конструкторов (А. Г. Шмаков, Л. П. Крылов, Б. Б. Беркенгейм, З. М. Чуева и др.), возглавляемого А. М. Быковским, созданы высокопроизводительные гидротипные машины, в значительной мере отвечающие современным требованиям [244—249].

В отличие от цветофотографического процесса на многослойных пленках, где успех в основном определяется созданием самой пленки, промышленная реализация гидротипного процесса в значительно большей мере обусловлена комплексным решением вопросов обработки и печати фильмов. Создание промышленного гидротипного процесса печати цветных фильмов явилось результатом целеустремленной работы большой группы

научных работников, конструкторов, инженеров и рабочих в ЛОЦФ, НИКФИ, на химических заводах химико-фотографической промышленности, НИОПиК, ДЗТОС, в конструкторских бюро киноаппаратуры, в последние годы в Казанском филиале Госнихимфотопроекта, на Ленинградской кинокопировальной фабрике под руководством В. П. Забелло, С. А. Бонгарда, Б. Б. Беркенгейма, А. Г. Шмакова, Н. В. Трофимовой, Л. Ф. Артюшина, Н. С. Спасокукоцкого, Г. В. Дерстуганова, В. М. Левина, А. И. Калининского, А. М. Быковского.

На базе указанных выше работ в последние годы осуществляется массовая печать цветных фильмокопий на двух экспериментальных установках и на Ленинградской кинокопировальной фабрике. Несмотря на относительно небольшой масштаб массовой гидротипной печати фильмокопий (она составляет около 15% всего тиража цветных фильмов в стране), подтвердилась экономическая эффективность гидротипного процесса.

В последнее время успешно опробована возможность применения разработанного гидротипного процесса для печати 16-мм и 8-мм цветных фильмокопий [250]. Вместе с тем достигнутые технико-экономические показатели, и особенно качество получаемых цветных копий, еще не отвечают принципиальным возможностям этого процесса.

Для обеспечения высокоэффективной работы строящегося крупного предприятия гидротипной печати и стабильного выпуска фильмокопий высокого качества требуется дальнейшее углубление и расширение исследовательских и технологических работ в этой области. Должен быть полностью освоен процесс оптической печати матриц непосредственно с цветного негатива с осуществлением мероприятий, обеспечивающих регулирование градаций матриц и отсутствие пропечатывания дефектов негатива.

Весьма перспективными являются работы по изысканию новых методов обработки матриц с получением более прочных и мелкозернистых рельефов, что особо важно в случае малоформатных копий. С учетом введения в приемный слой бланк-фильма фиксаторов, резко снижающих расплывание красителей, появляются новые возможности выбора триады красителей с наиболее оптимальным комплексом цветофотографических характеристик. На гидротипных машинах должна быть полностью реализована возможность ускорения процесса переноса красителей, регулирования плотности окрашенных матриц при многократной печати.

Особое значение имеют работы по дальнейшему снижению нагрузок на пленки на всех стадиях процесса, в особенности на гидротипных машинах, что позволит значительно повысить срок службы матриц и улучшить совмещение частичных цветных изображений.

Должны быть усовершенствованы методы и автоматизирован контроль гидротипной печати фильмокопий, что обеспечит надежность поточного высокопроизводительного процесса печати.

Совершенно необходимо дальнейшее совершенствование кинопленок, в особенности значительное улучшение их физико-механических свойств — прочности, постоянства геометрических размеров и др.

Заключение

Обширные научные исследования и выполненные на их основе работы по созданию техники и технологии цветофотографических процессов обеспечили к настоящему моменту широкое проникновение цвета в кинематографию, любительскую фотографию и различные области прикладной фотографии.

В нашей стране сегодня свыше 30% кинофильмов снимаются в цвете и их число в ближайшие годы существенно возрастет.

Во всей мировой и отечественной практике имеется четко выраженная тенденция дальнейшего значительного роста применения цветофотографических процессов.

Это совершенно естественно, так как невозможно себе представить решения актуальнейшей задачи современности — совершенствования методов увеличения объема и повышения плотности информации, сообщаемой людям, без использования такого важнейшего признака предмета и явлений, как цвет.

Кинематография художественная, научная, документальная, учебная и любительская; цветное телевидение, где, как показывает имеющийся опыт, основная информация передается с записью на фотографические материалы; фотография как средство документирования и исследования различных процессов и явлений; фотографические изображения — диапозитивы — для целей обучения, пропаганды и рекламы; любительская фотография во всем ее разнообразии — все это в ближайшие годы потребует огромных масштабов развития цветофотографических процессов, создания новых методов и средств для их осуществления.

Дальнейшее расширение масштабов и областей применения цветофотографических процессов, на наш взгляд, возможно при выполнении следующих научно-технических условий:

1) существенное улучшение качества изображения — цветовоспроизведения и общей полноты передачи информации в цветофотографическом процессе (повышение резкости, снижение зернистости);

2) упрощение условий применения и обработки цветных фотоматериалов, в широком смысле слова (светочувствительность, простота съемки, печати, обработки и т. д.), с приближением таковых к условиям для черно-белых материалов;

3) снижение стоимости получения изображения.

На решение этих весьма сложных общих задач и должны быть направлены научные и технологические работы.

На наш взгляд, перспективными являются научные исследования по совершенствованию методов оценки и изучения цветовоспроизведения и общей полноты передачи информации в сквозных (от объекта съемки до восприятия изображений) цветофотографических процессах, с установлением оптимальных требований и параметров с возможными техническими допусками как для процесса в целом, так и для отдельных его стадий. Наряду с установлением общих принципов эти исследования должны проводиться с учетом конкретного назначения цветофотографического процесса.

Некоторые теоретические и методические предпосылки для проведения таких исследований уже созданы: в частности, разработаны важные вопросы теории цветопередачи, методы цветоделительных и спектральных исследований фотоматериалов и процессов.

Перспективным является применение для сквозной оценки процессов частотно-контрастных характеристик и спектров гранулярности.

Однако, судя по всей имеющейся литературе, доведение этих исследований до установления параметров, которые позволят техникам иметь строгие количественные показатели при создании конкретных материалов и процессов, потребует еще значительных, как теоретических исследований, так и экспериментальных изысканий.

Значительный прогресс может быть достигнут при дальнейшем совершенствовании рассмотренных выше «традиционных» цветофотографических процессов.

В ближайшее время весьма существенными являются, в частности, следующие направления совершенствования процесса на многослойных пленках с цветным проявлением.

I. Повышение светочувствительности негативных цветных пленок (при сохранении или улучшении структурных свойств). Это по-прежнему, как и вообще в фотографии, остается первостепенной задачей. Сегодня лучшие мировые достижения подходят к уровню 80 ед. ГОСТа, т. е. в 2—3 раза менее, чем на соответствующих черно-белых пленках.

Решение этой сложной задачи помимо общеэмульсионных вопросов, на наш взгляд, должно охватывать комплекс проблем: поиски новых, более эффективных оптических сенсibilизаторов и компонент; исследование взаимодействия в галюйдосеребряном эмульсионном слое сенсibilизаторов, компонент и поверхностно-активных веществ с целью изыскания комбинаций, обеспечивающих повышение эффективной светочувствительности; исследование процесса цветного проявления в направлении его активации, вероятно посредством специальных веществ.

II. Улучшение цветопередачи в сквозных процессах: для обеспечения оптимальных соотношений спектральной чувствительности и светопоглощения красителей в отдельных слоях пленок. Этого можно достичь на основе уже имеющихся теоретических предпосылок и результатов дальнейших исследований цветовоспроизведения.

Главным, по-видимому, должно явиться изыскание компонент, дающих красители с минимально «вредным» спектральным поглощением, и обеспечение внутреннего маскирования при таких компонентах. При ныне получаемых красителях в ближайшее время существенно изыскание голубой компоненты, имеющей требуемое спектральное поглощение в зеленой области спектра. При введении окрашенных компонент в эмульсионные слои должно быть обеспечено маскирование во всем интервале плотностей изображения.

III. Исследование зернистости и резкости изображения в многослойных пленках и изыскание методов их улучшения. В первую очередь необходимы методические работы по созданию объективных критериев оценки этих показателей. Интерпретация результатов, получаемых по применяемым для черно-белых материалов методам, в значительной мере затруднена из-за цветности элементов изображения.

С целью снижения зернистости перспективным представляется исследование возможности снижения диффузионного пути активных продуктов окисления проявляющего вещества без снижения выхода красителя. Для улучшения резкости изображения помимо осуществления оптимального взаимного расположения слоев в системе цветных пленок и снижения их толщины для позитивных и контративных пленок весьма существенно дальнейшее изыскание фильтровых красителей с обеспечением возможности введения их в строго определенные слои пленки при минимальном влиянии на светочувствительность.

IV. Расширение исследований диффузионных процессов в многослойной системе цветной пленки, т. е. выявление факторов, обуславливающих изменение градационных и цветоделительных характеристик при взаимном влиянии светочувствительных слоев, и целенаправленное использование этих факторов для улучшения указанных характеристик. Это, звание этих факторов для улучшения указанных характеристик, как указывалось, особо существенно для улучшения цветопередачи обрабатываемых пленок, на которых изображение предназначено для непосредственного рассматривания.

V. Исследования процесса обращения цветных изображений, создание предпосылок для разработки широкого ассортимента обрабатываемых цветных пленок. Помимо значительного расширения за этот счет областей применения цветной фотографии здесь открываются большие перспективы резкого повышения светочувствительности цветных пленок. Как показывает зарубежный опыт, вполне реальны величины порядка 500 ед. ГОСТ, а при некоторых условиях — и существенно выше.

VI. Исследование новых принципов и методов химико-фотографической обработки многослойных фотоматериалов, в частности пастовых и диффузионных, с целью упрощения и сокращения длительности процессов, что весьма существенно для более широкого распространения цветной фотографии.

Особо следует выделить исследования по созданию собственно диффузионных процессов получения цветных позитивов. Эти работы, обладающие в случае цвета большой спецификой, должны быть включены в общий комплекс работ по диффузионным фотографическим процессам.

Опыт фирмы «Лэнд-ПолярOID» свидетельствует о том, что таким путем можно получать весьма быстро цветные позитивы, качество которых в дальнейшем будет улучшено.

Гидротипный способ печати цветных фильмов в качественном и экономическом отношении еще длительное время может быть весьма эффективным в профессиональной кинематографии. Для его совершенствования помимо изучения общих вопросов цветовоспроизведения и передачи информации в цветофотографических процессах требуется дальнейшее исследование протекающих при этом химико-фотографических процессов. Кроме того, важны исследования механики полимерных пленок.

VII. Несмотря на то что возможности вымытых рельефов в качестве матриц далеко не исчерпаны и исследование их свойств и методов получения должны продолжаться, перспективным представляется изучение в целях применения в гидротипии планографных и других видов матриц.

VIII. Весьма существенно продолжение исследований по установлению количественных закономерностей диффузии красителей в тонких желатиновых слоях, изучение и изыскание методов и средств управления этими диффузионными процессами.

IX. Исследование механических свойств киноплёнок, изменения их размеров и других характеристик при многостадийном гидротипном процессе с целью изыскания методов и средств достижения максимального совмещения трех цветоделенных изображений.

Несмотря на отмеченные большие перспективы и реальные возможности дальнейшего развития и совершенствования ныне распространенных цветофотографических процессов, не отпадает необходимость в ближайшем времени развернуть поисковые работы по изысканию и применению новых процессов (или использование на новой основе старых).

Нам представляется, что здесь уже сейчас можно предвидеть перспективность по крайней мере нескольких направлений.

Применение линзо-растровых фотоматериалов давно опробовано в цветной фотографии, но отвергнуто в основном из-за трудности создания совершенной линзо-растровой системы.

В настоящее время, особенно в связи с развитием скоростных съемок и стереофотографии, способы получения пленок с линзовыми растрами непрерывно совершенствуются. Представляется, что применение для цветного фотографирования таких систем, дающих возможность получения на пленке большой плотности информации, заслуживает внимания.

Для получения позитивных фотографических изображений на бумажной и эфирцеллюлозной основе, как справедливо указывалось на данном совещании, в недалеком будущем могут найти новое применение процессы с обесцвечиванием красителя при отбеливании серебряного изображения. Это может явиться одним из наиболее реальных и действенных путей получения цветных фотографических изображений с большим цветовым охватом и весьма высокой стабильностью.

Принципиально новые перспективы получения цветных объемных изображений открывают методы голографии, исследования которых должны проводиться во все возрастающих масштабах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. В. Ломоносов. Слово о происхождении света. Сочинения, ГИХЛ, М., 1957.
- [2] E. J. Wall. The History of Three-Color Photography. Boston, 1925.
- [3] J. M. Eder. Geschichte der Photographie. Handbuch der Photographie, Bd. I, 1932.
- [4] W. Baier. Quellendarstellungen zur Geschichte der Photographie. Fotokino Verlag, Halle, 1964.
- [5] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1967, 12, 397.
- [6] С. А. Морозов, Русская художественная фотографии. Изд. «Искусство», М., 1961.
- [7] Я. М. Катусhev, В. И. Шеберстов. Основы теории фотографических процессов. Изд. «Искусство», М., 1954, стр. 415; И. Ф. Усагин, Изв. Русск. общ. любит. fotogr., 1903, № 1.
- [8] К. С. Ляликов, Усп. научн. fotogr., 1954, II, 239.
- [9] Е. М. Голдовский, 30 лет советской кинематографии. Госкиноиздат, М., 1950.
- [10] В. И. Шеберстов, Усп. научн. fotogr., 1954, II, 217.
- [11] Г. П. Фаерман, Усп. научн. fotogr., 1954, II, 233.
- [12] С. А. Бонгард, Техн. кино и телевид., 1967, 10, 23.
- [13] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1967, 12, 397.
- [14] Н. Н. Агокас, Кинофотохимпром., 1933, 3, 77.
- [15] Л. П. Крылов, А. Я. Смирнов, Фотохимпром., 1935, 3, № 1—2, 84.
- [16] К. А. Колосов, А. С. Кузнецов, Кинофотохимпром., 1937, 3, № 2, 77.
- [17] Н. С. Овечкин, А. Б. Барковский, Кинофотохимпром., 1937, 3, № 2, 54.
- [18] Л. П. Крылов, Фотокинохимпром., 1934, 2, № 1—2, 47.
- [19] Н. М. Зюскин, Д. М. Самойлович, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 4, 9.
- [20] Н. М. Зюскин, Кинофотохимпром., 1938, 4, № 12, 47.
- [21] Н. М. Зюскин, Кинофотохимпром., 1938, 4, № 12, 48.
- [22] Д. М. Самойлович, Кинофотохимпром., 1938, 4, № 4, 18.
- [23] Д. М. Золотницкий, Е. А. Семенова, Т. В. Льюлько, С. И. Краснова, Кинофотохимпром., 1940, 6, № 4, 65.
- [24] Н. Д. Нюберг, Советская кинофотопром., 1936, 2, № 8, 37.
- [25] Г. И. Арбузов, Кинофотохимпром., 1939, 5, № 5, 31.
- [26] Я. И. Бокинник. Теория и практика цветной фотографии. Госкиноиздат, М., 1941.
- [27] Г. И. Арбузов, Л. И. Гильман, ЖОХ, 1959, 20, 1787.
- [28] Г. И. Арбузов. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1939.
- [29] Д. М. Самойлович, Кинофототехника, 1941, 7, № 2, 37.
- [30] Я. И. Блюмберг, Фотокинохимпром., 1934, 2, № 2, 13.
- [31] К. С. Ляликов, А. Я. Смирнов, Фотокинохимпром., 1934, 2, № 2, 22.
- [32] А. Я. Смирнов, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 1—2, 37.
- [33] R. Fischer, Герм. пат. 253335, 1912 г.; Англ. пат. 2562, 1913 г.; пат. США 1102028, 1914 г.
- [34] R. Fischer, H. Siegrist, Photogr. Korresp., 1914, 51, 18.
- [35] В. С. Чельцов, Кинофототехника, 1941, 7, № 1, 47.
- [36] В. С. Чельцов, Г. И. Арбузов, А. Н. Иорданский, Усп. химии, 1945, 14, 349.
- [37] А. Н. Иорданский, К. Л. Мерц, Н. С. Овечкин, В. С. Чельцов. Цветная фотография на трехслойных светочувствительных материалах. Госкиноиздат, М., 1949.
- [38] К. Л. Мерц. Цветная фотография. Госкиноиздат, М., 1950.
- [39] В. А. Уваров. Цветная аэрофотография. Изд. «Правда», М., 1951.
- [40] С. П. Иванов. О цветной стереоскопической фотографии. Изв. АН СССР, ОХН, 1945, № 3, 261.
- [41] А. Е. Порай-Кошиц, Б. А. Порай-Кошиц, Изв. АН СССР, ОХН, 1945, № 3, 261.
- [42] М. И. Крылова, Тр. ЛХТИ им. Ленсовета, 1941, 11, 47.
- [43] В. С. Чельцов, Г. И. Арбузов, К. Л. Мерц, Тр. НИКФИ, 1947, 7, 117.
- [44] Г. И. Арбузов, Ж. прикл. хим., 1950, 23, 886.
- [45] А. Н. Иорданский, Г. И. Арбузов, Ж. прикл. хим., 1951, 24, 337.
- [46] С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, В. С. Чельцов, ДАН СССР, 1952, 84, 81.
- [47] Ю. Б. Вилениский, С. А. Бонгард, Ж. прикл. хим., 1953, 26, 89.
- [48] С. А. Бонгард. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1950.

- [49] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенинникова, С. А. Бонгард, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 48.
- [50] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, С. А. Бонгард, Т. Г. Ткаченко, Тр. НИКФИ, 1957, 10, 20.
- [51] С. А. Бонгард, М. В. Крашенинникова, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР, 102121, в сб.: Откр., изобрет., пром. обр., товарн. зн., 1, 1969.
- [52] К. С. Ляликов, Б. А. Царев, Я. Л. Лейбов, В. Н. Курнаков, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 38.
- [53] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 285.
- [54] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 419.
- [55] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 125.
- [56] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 358.
- [57] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Усп. хим., 1953, 22, 482.
- [58] А. В. Бромберг, Ю. Б. Виленский, Ж. прикл. хим., 1949, 22, 128.
- [59] К. С. Ляликов, ДАН СССР, 1950, 75, 59.
- [60] А. С. Хейман, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 5.
- [61] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Цветное проявление. Изд. «Искусство», М., 1959.
- [62] Ю. Б. Виленский. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1963.
- [63] Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 225.
- [64] В. А. Боголюбский, Г. П. Шумеляк, Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 61.
- [65] В. А. Боголюбский, Л. В. Гречко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 461.
- [66] В. А. Боголюбский. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1964.
- [67] Т. В. Абрамова, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 33.
- [68] Т. В. Абрамова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1955.
- [69] Г. П. Фаерман, Н. И. Шишкина, ЖФХ, 1951, 25, 1026; Усп. научн. фотогр., 1954, II, 63.
- [70] Е. В. Столярова, В. С. Чельцов, ЖФХ, 1953, 27, 640.
- [71] Е. В. Столярова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1953.
- [72] И. И. Левкоев, З. П. Сытник, С. В. Натансон, Усп. научн. фотогр., 1954, 2, 11.
- [73] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 174.
- [74] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Т. М. Лазарева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 381.
- [75] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 44.
- [76] Э. Б. Лифшиц, Т. М. Лазарева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 266.
- [77] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, ЖФХ, 1954, 28, 1572.
- [78] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Кинотехника, 1963, 2, 75.
- [79] Э. Б. Лифшиц. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1951.
- [80] Э. Б. Лифшиц, З. П. Сытник, Л. В. Гречко, Т. М. Петухова. Авт. свид. СССР 134983 (Бюлл. изобр., 1961, № 1).
- [81] Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 421.
- [82] З. И. Грацианская. Автореф. канд. дисс. ЛИКИ, Л., 1956.
- [83] Ю. Б. Виленский, Р. В. Тимофеева, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 56.
- [84] Ф. Н. Степанов, Н. С. Вульфсон, Ж. хим. пром., 1950, 11, 332.
- [85] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, Хим. наука и пром., 1958, 3, 576.
- [86] Б. В. Дерягин, С. М. Леви, В. С. Кольцов, ДАН СССР, 1951, 79, 283.
- [87] В. И. Успенский. Автореф. канд. дисс. ЛИКИ, Л., 1964.
- [88] В. Б. Тарасова, В. И. Успенский, Кинотехника, 1964, 8, 18.
- [89] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Тр. НИКФИ, 1962, 47, 11.
- [90] Б. А. Чарторыйский, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 427.
- [91] Б. А. Чарторыйский, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 16.
- [92] С. П. Шарланджиев, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 117.
- [93] С. П. Шарланджиев, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 24.

- [94] Г. П. Сеников, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 144.
- [95] Н. Е. Чеботарева, И. И. Сазонова, В. М. Гороховский, Т. Д. Глухова, А. М. Галимова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 272.
- [96] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1952, 82, 603.
- [97] Г. И. Арбузов, И. А. Соловьева, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 28.
- [98] И. А. Соловьева, М. В. Крашенинникова, Г. И. Арбузов, ЖОХ, 1956, 26, 3035.
- [99] И. И. Левкоев, Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. С. Спасокукоцкий, Н. Ф. Турцина, Тр. НИКФИ, 1957, 10, 68.
- [100] Б. С. Портная, Т. П. Бобкова, М. В. Крашенинникова, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 106.
- [101] Б. С. Портная, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 278.
- [102] Г. Н. Лапшин, С. И. Дикий, М. А. Альперович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 304.
- [103] И. И. Широкова, Г. Н. Лапшин, Т. Г. Ткаченко, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР 127135 (Бюлл. изобр., 1960, № 6).
- [104] И. И. Широкова, Т. Г. Ткаченко, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Кинотехника, 1963, 2, 124.
- [105] Т. Г. Ткаченко, В. С. Чельцов, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, И. В. Александров, И. И. Левкоев, И. А. Соловьева, Авт. свид. СССР 124801 (Бюлл. изобр., 1959, № 23).
- [106] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1952, 82, 603.
- [107] Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турцина, И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенинникова, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, А. Г. Гусева, В. С. Ильинская, Авт. свид. 122676 (Бюлл. изобр., 1959, № 8).
- [108] И. А. Соловьева, Т. Г. Ткаченко, А. Г. Гусева, Кинотехника, 1963, 4, 103.
- [109] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. С. Чельцов, В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 316.
- [110] И. М. Фридман, К. Ф. Еременко, И. А. Соловьева, М. М. Алмова, Хим. пром., 1955, 5, 283.
- [111] Н. Ф. Турцина, Б. С. Портная, М. В. Крашенинникова, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР 95746, опубл. 7 08 1953.
- [112] Н. И. Кириллов, А. М. Войцеховская, Н. Е. Кириллова, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 240.
- [113] И. В. Александров, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 191, 432.
- [114] И. В. Александров. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1959.
- [115] И. В. Александров, Ю. С. Абрадушкин, О. В. Глазунова, В. В. Уткина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 102.
- [116] И. М. Килинский, в сб.: Цветная кинематография, изд. «Искусство», М., 1955.
- [117] И. М. Килинский, Ю. Ш. Мошковский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 39.
- [118] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 3.
- [119] Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Н. Н. Бударина, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 13.
- [120] В. М. Уварова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1950.
- [121] И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 59.
- [122] З. К. Авербух, Ю. Б. Виленский, И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Техн. кино и телевидения, 1962, 9, 47.
- [123] А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 52.
- [124] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 198.
- [125] М. И. Барро, Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 21.
- [126] З. И. Грацианская, П. Т. Сидоренкова, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 29.

- [49] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенинникова, С. А. Бонгард, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 48.
- [50] В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, С. А. Бонгард, Т. Г. Ткаченко, Тр. НИКФИ, 1957, 10, 20.
- [51] С. А. Бонгард, М. В. Крашенинникова, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР, 102121, в сб.: Откр., изобрет., пром. обр., товарн. зн., 4, 1969.
- [52] К. С. Лялик, Б. А. Царев, Я. Л. Лейбов, В. Н. Курняков, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 38.
- [53] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 285.
- [54] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 419.
- [55] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 125.
- [56] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 358.
- [57] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Усп. хим., 1953, 22, 482.
- [58] А. В. Бромберг, Ю. Б. Виленский, Ж. прикл. хим., 1949, 22, 128.
- [59] К. С. Лялик, ДАН СССР, 1950, 75, 59.
- [60] А. С. Хейман, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 5.
- [61] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, Цветное проявление. Изд. «Искусство», М., 1959.
- [62] Ю. Б. Виленский. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1963.
- [63] Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 225.
- [64] В. А. Боголюбский, Г. П. Шумелки, Л. В. Гречко, Ю. Б. Виленский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 61.
- [65] В. А. Боголюбский, Л. В. Гречко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1962, 7, 461.
- [66] В. А. Боголюбский. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1964.
- [67] Т. В. Абрамова, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 33.
- [68] Т. В. Абрамова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1955.
- [69] Г. П. Фаерман, Н. И. Шишкина, ЖФХ, 1951, 25, 1026; Усп. научн. фотогр., 1954, II, 63.
- [70] Е. В. Столярова, В. С. Чельцов, ЖФХ, 1953, 27, 640.
- [71] Е. В. Столярова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1953.
- [72] И. И. Левкоев, З. П. Сынтин, С. В. Натансон, Усп. научн. фотогр., 1954, 2, 11.
- [73] С. В. Натансон, Э. Б. Лифшиц, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, I, 174.
- [74] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Т. М. Лазарева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 381.
- [75] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 44.
- [76] Э. Б. Лифшиц, Т. М. Лазарева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 266.
- [77] Э. Б. Лифшиц, С. В. Натансон, И. И. Левкоев, ЖФХ, 1954, 28, 1572.
- [78] Э. Б. Лифшиц, Т. Д. Рыбникова, Кинотехника, 1963, 2, 75.
- [79] Э. Б. Лифшиц. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1951.
- [80] Э. Б. Лифшиц, З. П. Сынтин, Л. В. Гречко, Т. М. Петухова. Авт. свид. СССР 134983 (Бюлл. изобр., 1961, № 1).
- [81] Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 421.
- [82] З. И. Грацианская. Автореф. канд. дисс. ЛИКИ, Л., 1956.
- [83] Ю. Б. Виленский, Р. В. Тимофеева, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 56.
- [84] Ф. Н. Степанов, Н. С. Вульфсон, Ж. хим. пром., 1950, 11, 332.
- [85] В. С. Чельцов, С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, Хим. наука и пром., 1958, 3, 576.
- [86] Б. В. Дерягин, С. М. Левин, В. С. Кольцов, ДАН СССР, 1951, 79, 283.
- [87] В. И. Успенский. Автореф. канд. дисс. ЛИКИ, Л., 1964.
- [88] В. Б. Тарасова, В. И. Успенский, Кинотехника, 1964, 8, 18.
- [89] В. И. Успенский, Н. И. Родионова, Тр. НИКФИ, 1962, 47, 11.
- [90] Б. А. Чарторыйский, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 427.
- [91] Б. А. Чарторыйский, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 16.
- [92] С. П. Шарланджиев, В. С. Чельцов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 117.
- [93] С. П. Шарланджиев, В. С. Чельцов, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 24.
- [94] Г. П. Сееников, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 144.
- [95] Н. Е. Чеботарева, И. И. Сазонова, В. М. Гороховский, Т. Д. Глухова, А. М. Галимова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 272.
- [96] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1952, 82, 603.
- [97] Г. И. Арбузов, И. А. Соловьева, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 28.
- [98] И. А. Соловьева, М. В. Крашенинникова, Г. И. Арбузов, ЖОХ, 1956, 26, 3035.
- [99] И. И. Левкоев, Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. С. Спасокукоцкий, Н. Ф. Турицина, Тр. НИКФИ, 1957, 10, 68.
- [100] Б. С. Портная, Т. П. Бобкова, М. В. Крашенинникова, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, Тр. НИКФИ, 1960, 40, 106.
- [101] Б. С. Портная, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 278.
- [102] Г. Н. Лапшин, С. И. Дикий, М. А. Альперович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 304.
- [103] Н. И. Широкова, Г. Н. Лапшин, Т. Г. Ткаченко, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Авт. св. СССР 127135 (Бюлл. изобр., 1960, № 6).
- [104] Н. И. Широкова, Т. Г. Ткаченко, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Кинотехника, 1963, 2, 124.
- [105] Т. Г. Ткаченко, В. С. Чельцов, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, И. В. Александров, И. И. Левкоев, И. А. Соловьева, Авт. свид. СССР 124801 (Бюлл. изобр., 1959, № 23).
- [106] Б. С. Портная, И. И. Левкоев, Н. С. Спасокукоцкий, ДАН СССР, 1952, 82, 603.
- [107] Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. Ф. Турицина, И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, М. В. Крашенинникова, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, А. Г. Гусева, В. С. Ильинская, Авт. свид. 122676 (Бюлл. изобр., 1959, № 8).
- [108] И. А. Соловьева, Т. Г. Ткаченко, А. Г. Гусева, Кинотехника, 1963, 4, 103.
- [109] И. И. Левкоев, И. М. Фридман, В. С. Чельцов, В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотогр., 1955, IV, 316.
- [110] И. М. Фридман, К. Ф. Еременко, И. А. Соловьева, М. М. Алымова, Хим. пром., 1955, 5, 283.
- [111] Н. Ф. Турицина, Б. С. Портная, М. В. Крашенинникова, И. И. Левкоев, В. С. Чельцов, Авт. свид. СССР 95746, опубл. 7 08 1953.
- [112] Н. И. Кириллов, А. М. Войцеховская, Н. Е. Кириллова, Усп. научн. фотогр., 1960, VII, 240.
- [113] И. В. Александров, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 191, 432.
- [114] И. В. Александров. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1959.
- [115] И. В. Александров, Ю. С. Абрадушкин, О. В. Глазунова, В. В. Уткина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 102.
- [116] И. М. Килинский, в сб.: Цветная кинематография, изд. «Искусство», М., 1955.
- [117] И. М. Килинский, Ю. Ш. Мошковский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, I, 39.
- [118] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 3.
- [119] Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Н. Н. Бударина, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 13.
- [120] В. М. Уварова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1950.
- [121] И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 59.
- [122] З. К. Авербух, Ю. Б. Виленский, И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Техн. кино и телевидения, 1962, 9, 47.
- [123] А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 52.
- [124] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 198.
- [125] М. И. Барро, Ю. Н. Гороховский, З. И. Грацианская, П. Х. Прусс, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 21.
- [126] З. И. Грацианская, П. Т. Сидоренкова, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 29.

- [127] И. М. Килинский, А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 108.
- [128] И. М. Килинский, В. В. Андреев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 379.
- [129] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, М. К. Гречко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 359.
- [130] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 359; Техн. кино и телевид., 1959, 8, 15.
- [131] И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, А. Н. Иорданский, Техн. кино и телевид., 1957, 1, 50.
- [132] А. Н. Иорданский, И. М. Килинский, Ю. Б. Виленский, Техн. кино и телевид., 1961, 3, 4.
- [133] Л. В. Розенталь, А. Н. Иорданский, Техн. кино и телевид., 1957, 6, 60.
- [134] Л. В. Розенталь, А. М. Чураева, Техн. кино и телевид., 1957, 8, 43.
- [135] Л. В. Розенталь, З. К. Авербух, Г. И. Бурдыгина, А. Ф. Муковнина, В. В. Стрюкова, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 67.
- [136] И. И. Левкоев, Б. С. Портная, И. А. Соловьева, Н. С. Спасокукоцкий, Н. Ф. Турицина, Тр. НИКФИ, 1957, 10 (20), 68.
- [137] Б. С. Портная, Т. Г. Ткаченко, Т. П. Бобкова, В. С. Чельцов, И. И. Левкоев, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 278; Б. С. Портная, И. А. Соловьева, И. И. Левкоев и др., Авт. свид. СССР 122676 (Бюлл. изобр., 1959, № 18).
- [138] В. И. Успенский, С. М. Антонов, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 155.
- [139] А. Н. Иорданский, В. И. Успенский, Ю. Б. Виленский, Н. П. Крашенинников, Авт. свид. СССР 93322 (Бюлл. изобр., 1964, № 10).
- [140] Техн. кино и телевид., 1968, 9, 3.
- [141] С. А. Бонгард, А. Н. Иорданский, Усп. научн. фотогр., 1968, XIII, 275.
- [142] А. Н. Иорданский, Автореф. докт. дисс. МИИГАиК, М., 1966.
- [143] А. Н. Иорданский, Тр. Лаборатории аэрометодов АН СССР, 1959, 7.
- [144] А. Н. Иорданский, Тр. Центр. н.-и. инст. геод., аэросъемки и картогр., 1955, 107, 49.
- [145] А. Я. Смирнов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 6, 193.
- [146] А. Н. Иорданский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 210.
- [147] Ю. Н. Гороховский, З. С. Шербаковский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 466.
- [148] А. Н. Иорданский, В. С. Чельцов, В. А. Уваров, Авт. свид. СССР 107499 (Бюлл. изобр., 1957, № 7).
- [149] А. Н. Иорданский, И. В. Александров, Авт. свид. СССР 104785 (Бюлл. изобр., 1965, № 4).
- [150] А. Н. Иорданский, М. А. Вышеславцева, В. А. Уваров, Авт. свид. СССР 108426 (Бюлл. изобр., 1965, № 2).
- [151] Л. П. Крылов, Фотокинохимпром., 1933, 1, 35.
- [152] И. А. Черный, Фотокинохимпром., 1935, 3, № 6, 40.
- [153] С. М. Клингман, Л. П. Шамшев, Кинофотохимпром., 1937, 3, № 2, 57.
- [154] К. С. Амелина, Кинофототехника, 1941, 7, № 3, 43.
- [155] К. С. Ляликов, в кн.: А. Клейн. Цветная кинематография. Госкиноиздат, М., 1939.
- [156] Н. С. Овечкис, Сов. кинофотопром., 1936, 2, № 9, 43.
- [157] П. М. Мершин, Сов. кинофотопром., 1936, 2, № 10, 4.
- [158] Я. И. Бокин, Цветная фотография. Госкиноиздат, М., 1939.
- [159] В. М. Фридман, Кинофотохимпром., 1939, 5, № 10, 48.
- [160] Г. С. Баранов, Кинофотохимпром., 5, № 9, 31.
- [161] В. А. Кизель, Кинофотохимпром., 1939, 5, № 2, 37.
- [162] М. М. Басов, Кинофотохимпром., 1937, 3, № 2, 44.
- [163] Г. М. Иванов, Кинофотохимпром., 1938, 4, № 12, 4.
- [164] Г. Н. Васильев, Кинофотохимпром., 1938, 4, № 6, 25.
- [165] В. А. Кизель, С. А. Друккер, Кинофотохимпром., 1940, 6, № 1, 12.
- [166] Я. И. Бокин, Кинофотохимпром., 1940, 6, № 5, 44.
- [167] Н. С. Овечкис, Кинофотохимпром., 1940, 6, № 9, 49.
- [168] Н. М. Зюскин, Е. Ю. Брайчевская, Кинофотохимпром., 1940, 6, № 6, 36.
- [169] Г. Стааль, И. А. Черный, Кинофотохимпром., 1937, 3, № 2, 21.

- [170] И. А. Черный, Кинофотохимпром., 1938, 4, № 2, 18.
- [171] Авт. свид. СССР 82282 (Бюлл. изобр., 1950, № 8).
- [172] А. В. Бромберг, О. С. Мальцева, Ж. прикл. хим., 1947, 20, 422, 539, 549.
- [173] А. В. Бромберг, Коллоидн. ж., 1949, 11, 211; 1950, 12, 9.
- [174] К. В. Чмутов, А. В. Бромберг, Ж. прикл. хим., 1949, 22, 261.
- [175] К. В. Чмутов, Г. Н. Юшкевич, Коллоидн. ж., 1947, 9, 309.
- [176] А. В. Бромберг, С. А. Мерекалов, Ж. прикл. хим., 1950, 23, 1280.
- [177] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 31.
- [178] И. М. Давыдкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 241, 327.
- [179] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1963, 8, 3, 81.
- [180] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 69.
- [181] Г. Г. Багаева, И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Ж. прикл. хим., 1963, 36, 1494.
- [182] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 3.
- [183] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 106.
- [184] К. С. Амелина, О. Ф. Коваличев, Тр. ЛИТМО, 1957, 24, 127; 1960, 31, 176.
- [185] К. С. Амелина, А. М. Коновалова, Тр. ЛИТМО, 1960, 31, 181.
- [186] К. С. Амелина, Тр. ЛИТМО, 1960, 31, 206.
- [187] С. Е. Тихонович, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1950.
- [188] С. Е. Тихонович, Авт. свид. СССР 85535 (Бюлл. изобр., 1950, № 8).
- [189] В. А. Вейденбах, Е. А. Карпович, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 3, 351.
- [190] С. А. Бонгард, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 81.
- [191] С. А. Бонгард, М. И. Виницкая, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 92.
- [192] С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1956, 1, 67.
- [193] С. А. Бонгард, Тр. НИКФИ, 1959, 29, 73.
- [194] С. А. Бонгард, М. И. Виницкая, В. И. Юрченко, Авт. свид. СССР 103075 (Бюлл. изобр., 1969, № 19).
- [195] З. Я. Курина, Авт. свид. СССР 168990 (Бюлл. изобр., 1965, № 5).
- [196] С. А. Бонгард, Л. М. Богданов, З. Я. Курина, А. Г. Минуллина, С. Н. Мищенко, В. П. Агатицкая, В. В. Змитрикова, Авт. свид. СССР 168129 (Бюлл. изобр., 1965, № 3).
- [197] Л. Ф. Артюшин, С. А. Бонгард, А. И. Вейцман, Авт. свид. СССР 197399 (Бюлл. изобр., 1967, № 12).
- [198] Д. К. Балабуха, Техн. кино и телевид., 1961, 6, 6.
- [199] Г. В. Дерстуганов, М. П. Арбузова, М. И. Стенина, Техн. кино и телевид., 1968, 7, 25.
- [200] Б. Б. Беркенгейм, Автореф. канд. дисс. ЛИКИ, Л., 1955.
- [201] Т. Н. Байкалова, Н. С. Спасокукоцкий, А. П. Рабунец, Авт. свид. СССР 133342 (Бюлл. изобр., 1960, № 21).
- [202] Е. Ф. Руль, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1967.
- [203] Т. Н. Байкалова, Б. Б. Беркенгейм, Авт. свид. СССР 169397 (Бюлл. изобр., 1965, № 6).
- [204] Т. Н. Байкалова, Б. Б. Беркенгейм, З. А. Хайретдинова, К. А. Шаханова, Авт. свид. СССР 211315 (Бюлл. изобр., 1968, № 7).
- [205] М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, В. А. Кухтин, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Авт. свид. СССР 148722 (Бюлл. изобр., 1962, № 13).
- [206] Г. В. Дерстуганов, Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Д. В. Шамильская, В. А. Кухтин, Л. Г. Федорина, Кинотехника, 1964, 9, 31.
- [207] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 146; 1967, 12, 62.
- [208] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Л. Г. Федорина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 435.
- [209] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, Авт. свид. СССР 162421 (Бюлл. изобр., 1964, № 9).
- [210] М. С. Хайкин, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, В. А. Кухтин, Авт. свид. СССР 162422 (Бюлл. изобр., 1964, № 9).
- [211] Е. Ф. Руль, М. С. Хайкин, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Авт. свид. СССР 168994 (Бюлл. изобр., 1965, № 5).

- [212] М. С. Хайкин, Д. Б. Шамилевская, Е. Ф. Руль, Л. Г. Федорина, Г. В. Дерстуганов, Н. А. Пачкова, О. Г. Луккина, Т. Ф. Баранова, Авт. свид. СССР 198912 (Бюлл. изобр., 1967, № 14).
- [213] С. С. Савко, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 27.
- [214] Л. В. Красный-Адмони, Автореф. канд. дисс. ЛИКИ, Л. 1968.
- [215] Л. В. Красный-Адмони, Я. З. Зайденберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 401; 1965, 10, 8.
- [216] Л. В. Красный-Адмони, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 241; 1967, 12, 310; 1968, 13, 174, 218.
- [217] Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тихонович, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 115, 125.
- [218] Н. С. Спасокукоцкий, Г. В. Величко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 406.
- [219] Н. С. Спасокукоцкий, С. Е. Тихонович, В. Б. Вереникин, М. П. Арбузова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 432.
- [220] Г. В. Величко, Н. С. Спасокукоцкий, Н. М. Гуревич, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 39.
- [221] Н. С. Спасокукоцкий, А. С. Каширин, А. Я. Львова, Техн. кино и телевид., 1966, 11, 54.
- [222] Б. Б. Беркенгейм, З. М. Чуева, Авт. свид. СССР 124798 (РЖХИ, № 20, 1960).
- [223] Б. Б. Беркенгейм, Н. М. Гуревич, Авт. свид. СССР 102260 (Бюлл. изобр., 1956, № 1).
- [224] З. М. Чуева, Б. Б. Беркенгейм, М. К. Масленикова, Авт. свид. СССР 165968 (Бюлл. изобр., 1964, № 20).
- [225] Вейцман А. И., Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 337.
- [226] А. И. Вейцман, Б. Б. Беркенгейм, М. К. Масленикова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1967, 12, 451.
- [227] С. А. Бонгард, Н. С. Спасокукоцкий, Н. В. Пругло, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 286.
- [228] Н. В. Пругло, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 360.
- [229] Н. В. Пругло, А. Н. Евдокимов-Скопинский, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1965, 10, 424.
- [230] Н. В. Пругло, С. А. Бонгард, Н. С. Спасокукоцкий, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 194.
- [231] Н. В. Пругло, С. А. Бонгард, А. И. Вейцман, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 96.
- [232] Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, И. И. Левкоз, Е. Е. Козлова, М. И. Виницкая, В. И. Юрченкова, Авт. свид. СССР 99570. (Бюлл. изобр., 1953, № 7).
- [233] А. И. Королев, Я. М. Яибиков, Н. С. Спасокукоцкий, В. А. Блинов, В. И. Севастьянов, Б. Б. Беркенгейм, Авт. свид. СССР 118702 (Бюлл. изобр., 1959, № 6).
- [234] Б. Б. Беркенгейм, К. А. Шаханова, В. П. Забелло, З. М. Чуева, М. К. Масленикова, Авт. свид. СССР 106885 (Бюлл. изобр., 1964, № 23).
- [235] Г. Т. Бенинг, Г. Н. Нургалнева, Г. В. Дерстуганов, Н. Н. Кудрявцева, Тр. НИКФИ, 1962, 46, 36.
- [236] Г. П. Бенинг, Г. Н. Нургалнева, Н. В. Кудрявцева, Авт. свид. СССР 169398 (Бюлл. изобр., 1965, № 6).
- [237] Н. Н. Кудрявцева, З. Я. Курина, А. В. Казымов, Г. В. Дерстуганов, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, Т. П. Варзаносова, Авт. свид. СССР 217943 (Бюлл. изобр., 1968, № 16).
- [238] И. В. Александров, С. А. Бонгард, А. Н. Евдокимов-Скопинский, Т. В. Краснова, Н. В. Пругло, Н. С. Спасокукоцкий, Авт. свид. СССР 163891 (Бюлл. изобр., 1964, № 13).
- [239] И. В. Александров, С. А. Бонгард, А. Н. Евдокимов-Скопинский, Н. В. Пругло, Н. С. Спасокукоцкий, Авт. свид. СССР 165378 (Бюлл. изобр., 1964, № 18).
- [240] А. Н. Евдокимов-Скопинский А. Н., И. В. Александров, Н. С. Спасокукоцкий, С. А. Бонгард, М. И. Виницкая, Т. И. Фомина, Авт. свид. СССР 181992. (Бюлл. изобр., 1964, № 9).
- [241] А. Г. Шмаков, Авт. свид. СССР 101588 (Бюлл. изобр., 1955, № 10). (Бюлл. изобр., 1966, № 10).
- [242] И. С. Голод, С. Я. Голосинский, Л. Т. Цифринович, Н. Д. Берштейн, Д. Т. Шибасев, С. А. Бонгард, Л. Ф. Артю-

- шин, А. Г. Шмаков, Авт. свид. СССР 182510 (Бюлл. изобр., 1964, № 11).
- [243] С. М. Проворнов, И. С. Голод, Н. Д. Берштейн. Кинокошировая аппаратура. Изд. «Искусство», М., 1962.
- [244] П. М. Мершин, Авт. свид. СССР 54859 (Бюлл. изобр., 1939, № 5).
- [245] А. Г. Шмаков, Авт. свид. СССР 84580 (Бюлл. изобр., 1950, № 7).
- [246] Б. Б. Беркенгейм, А. Г. Шмаков, Е. Н. Геллер, З. М. Чуева, Авт. свид. СССР 124310 (Бюлл. изобр., 1959, № 22).
- [247] Л. П. Крылов, А. Г. Шмаков, Авт. свид. СССР 124803 (Бюлл. изобр., 1959, № 23).
- [248] А. Г. Шмаков, Л. П. Крылов, Авт. свид. СССР 108142 (Бюлл. изобр., 1957, № 9).
- [249] Н. В. Трофимова, А. Г. Шмаков, Авт. свид. СССР 158797 (Бюлл. изобр., 1963, № 22).
- [250] А. Г. Шмаков, В. П. Забелло, С. А. Бонгард, Н. Д. Берштейн, Авт. свид. СССР 157606 (РЖФКТ, 1964, № 7).

Л. Ф. АРТЮШИН, Н. С. ОВЕЧКИС

ТЕОРИЯ ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Начиная с 1861 г., когда Джеймс Клерк Максвелл сформулировал принципы аддитивного синтеза цветов и продемонстрировал впервые цветное изображение, появились и первые теоретические работы по цветовоспроизведению. Они были посвящены выбору основных цветов аддитивного синтеза, а также выбору светофильтров.

Впоследствии, когда начали применять субтрактивные способы цветной репродукции, появились работы по теории цветовоспроизведения в процессах с субтрактивным синтезом. Одновременно с появлением работ иностранных авторов начали публиковаться и работы советских исследователей.

Важнейшими среди них являются теоретические и экспериментальные работы, проведенные крупным советским ученым Н. Д. Ньюбергом в Научно-исследовательском институте полиграфической промышленности [1]. В результате этих исследований И. А. Медовщиковым и Н. Д. Ньюбергом был разработан для полиграфических процессов оригинальный метод параллельного маскирования цветоделенных изображений [2]. Было показано, что для дубликационно-точного цветовоспроизведения при определенных условиях достаточно всего лишь трех, а не шести цветоделенных масок.

Исключительно важной остается по сей день и более ранняя работа Н. Д. Ньюберга «О теле цветового охвата», в которой было показано, что для характеристики цветовоспроизведения в процессах с аддитивным синтезом необходимо пользоваться трехмерным пространством, а не ограничиваться двухкоординатной характеристикой цветности [3].

Одновременно с разработкой трехцветных гидротипных способов печати цветных фильмов появились работы Н. Д. Ньюберга по теории цветопередачи киноизображений [4], а также выполненные в НИКФИ исследования Н. С. Овечкиса по цветной денситометрии [5], работы Г. С. Баранова [6] и Я. И. Бокина [7].

Исследовательские работы, выполненные в 30-е и 40-е годы в Советском Союзе, имели решающее значение в создании теории цветной репродукции субтрактивных процессов.

Теория цветовоспроизведения

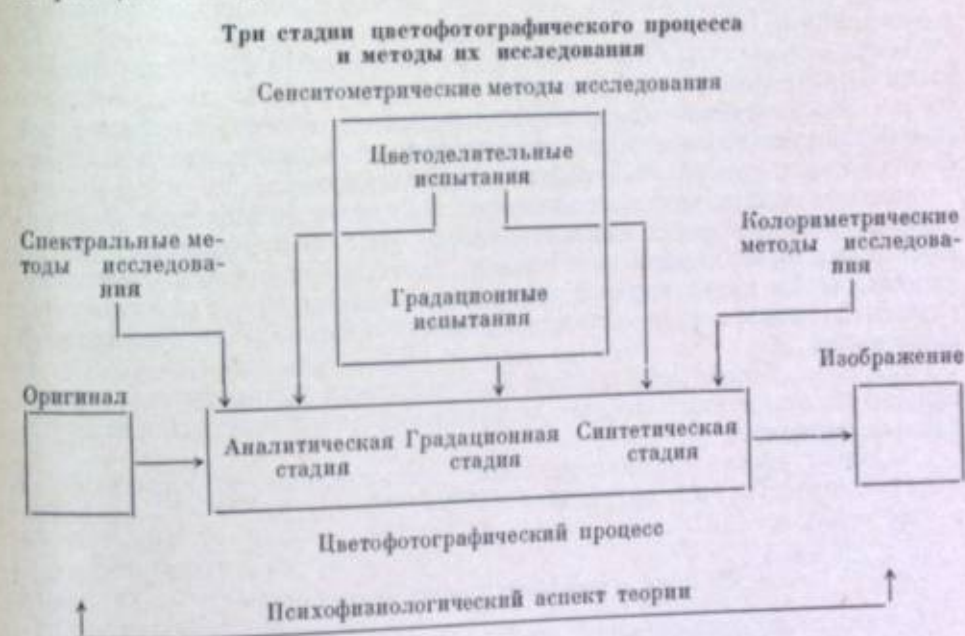
Предвоенный период развития теории цветовоспроизведения завершился фундаментальной работой Н. Д. Ньюберга «Теоретические основы цветной репродукции» [8]. Эта монография как по глубине исследования проблемы цветовоспроизведения и восприятия цветного изображения,

так и по широте рассмотренных вопросов не имеет себе равных в отечественной и иностранной литературе по научной фотографии.

И теперь, когда прошло 20 лет со дня опубликования книги, основные положения этой теории не претерпели изменений, а многие из них даже сейчас имеют большое перспективное значение. Это в первую очередь относится к методу допустимых цветовых преобразований, открывающему пути получения психологически точных изображений.

В основе теории Н. Д. Ньюберга, которую мы называем дубликационной теорией цветовоспроизведения, заложена идея, что для наилучшего воспроизведения цветов выбор оптимальных сенситометрических параметров и экспериментальный контроль точности цветовоспроизведения можно и следует проводить по тест-объектам, выполненным красителями позитивного синтеза. Это дает возможность сопоставить цвета оригинала и изображения в однородных величинах, так называемых субтрактивных координатах цвета, представляющих собой такие поверхностные концентрации красителей синтеза, которые при заданном освещении воспроизводят цвет любой детали фотографируемого объекта [9, 10].

Согласно теории, цветофотографический процесс подразделяется на три стадии: аналитическую, градационную и синтетическую. Таким образом, возникают три аспекта исследования этого процесса: спектральный, сенситометрический и колористический. Сравнительное изучение восприятия оригинала и изображения составляет психофизиологический аспект теории (см. схему).



Для колористически точного цветовоспроизведения, как впервые было показано Н. Д. Ньюбергом, необходимо выполнение трех условий: идеального анализа, идеальной градационной передачи и идеального цветоделения красителей синтеза [1, 9].

Во всех теоретических работах иностранных авторов до настоящего времени делается упор на обязательное выполнение лишь первых двух условий: идеального анализа и правильной градационной передачи. Ими не учитываются ограниченные возможности процессов с субтрактивным синтезом цветов, и поэтому к трем светочувствительным приемникам предъявляется требование совершенно одинаковой регистрации любых

метамерных цветов. Для выполнения этого требования рекомендуются приемники с кривыми спектральной чувствительности, подобными кривым сложения. При этом не учитывается, что при обязательном выполнении условия идеального анализа условие идеального цветоделения не выполняется и неизбежно появляются цветоделительные искажения.

Исходя из невозможности одновременного выполнения условий идеального анализа и цветоделения, Н. Д. Ньюберг предложил для репродукционных процессов, в которых отсутствует маскирование, применять приемники с узкими зонами сенсбилизации [8, 9]. Таким образом, более точное воспроизведение частовстречающихся цветов может быть обеспечено за счет ухудшения воспроизведения редко встречающихся, а поэтому «малознакомых» и «плохо запоминаемых» цветов.

Эта идея, представляющая один из принципов теории информации, была заложена Н. Д. Ньюбергом в дубликационную теорию цветовоспроизведения в 1941 г., когда принципы теории информации еще не были сформулированы.

Впоследствии исследовательские работы по развитию спектрального аспекта теории цветовоспроизведения, связанного с выбором спектральной чувствительности для первичных цветоделительных приемников, были проведены Л. Ф. Артюшиным. Им разработана методика, с помощью которой было показано, что ошибки в регистрации метамерных часто встречающихся цветов, возникающие при реально применяемых спектральных чувствительностях, оказываются значительно меньше ошибок цветоделения, неустранимых даже при оптимальном цветоделительном маскировании [11].

Было показано, что приемники с кривыми спектральной чувствительности, подобными кривым сложения, хотя и могут обеспечить совершенно точное воспроизведение для любых метамерных цветов, но только при нелинейном цветоделительном маскировании, которое практически неосуществимо в реальных фотографических процессах.

Поэтому для цветофотографических процессов, основанных на применении маскированных цветных пленок, зоны сенсбилизации, так же как и для немаскированных пленок, должны выбираться достаточно узкими, чтобы вредная регистрация двух немаскируемых побочных поглощений желтого и пурпурного красителей была бы по возможности наименьшей.

Результаты этой работы обосновывают также правомерность применения дубликационных методов экспериментального исследования цветовоспроизведения.

Большой цикл экспериментальных исследований по спектральной чувствительности был проведен в 1950—1967 гг. Ю. Н. Гороховским с сотрудниками [12].

Методы цветоделительных испытаний

Согласно дубликационной теории, количественная характеристика аналитической и синтетической стадий цветофотографического процесса производится одновременно девятью величинами цветоделительных характеристик. Каждая из этих величин, обозначаемая $\delta_{i,j}$, выражает удельную эффективную плотность (приведенный коэффициент поглощения) j -того красителя в отношении i -того светочувствительного слоя цветной пленки, на которую фотографируют тест-объект:

$$D_{ij} = \delta_{ij} c_j \quad (i, j = 1, 2, 3), \quad (1)$$

где D_{ij} — эффективная плотность изображения, создаваемого этим красителем; c_j — поверхностная концентрация красителя.

Градационную стадию цветофотографического процесса характеризуют тремя характеристическими кривыми используемого материала или кривыми воспроизведения серой шкалы.

Цветоделительные и градационные характеристики являются не только необходимыми, но и достаточными для количественного выражения воспроизведения цветов в величинах субтрактивных координат.

В 1954 г. Н. Д. Ньюбергом, Г. С. Барановым и Н. С. Овечкисом были сформулированы основные положения цветной сенситометрии, включающей как градационные, так и цветоделительные испытания [13].

Для экспериментального определения цветоделительных характеристик цветных фотографических пленок Н. Ф. Семеновой [14—16] в НИКФИ была разработана методика сокращенных и расширенных цветоделительных испытаний. Величина эффективной плотности трехкрасочного изображения выражается линейным уравнением, коэффициенты которого являются величинами цветоделительных характеристик:

$$D_i = \delta_{i1} c_1 + \delta_{i2} c_2 + \delta_{i3} c_3 \quad (i = 1, 2, 3). \quad (2)$$

Впоследствии Л. Ф. Артюшиным были предложены и совместно с Н. Ф. Семеновой разработаны расчетные и экспериментальные методы определения нелинейных цветоделительных характеристик [17]. Эти характеристики позволяют более точно выражать зависимость эффективных плотностей от поверхностных концентраций красителей:

$$D_i = \sum_{j=1}^3 \delta_{ij} c_j + (\sigma_i^{(12)} c_1 c_2 + \sigma_i^{(23)} c_2 c_3 + \sigma_i^{(31)} c_3 c_1 + \sigma_i^{(4)} c_i^2). \quad (3)$$

Для характеристики цветоделения в сложных многозвеньевых процессах, основанных на применении нескольких цветных пленок, была разработана методика экспериментального определения сквозных цветоделительных характеристик [18]. Показано, что сквозные цветоделительные характеристики могут быть рассчитаны по правилу перемножения матриц цветоделительных характеристик элементарных процессов. Например, матрица сквозных цветоделительных характеристик негативно-позитивного процесса рассчитывается по правилу перемножения матриц цветоделительных характеристик негативной (δ^{nn}) и позитивной (δ^{pp}) пленок:

$$(\delta) = (\delta^{nn})(\delta^{pp}). \quad (4)$$

В. М. Бахваловым была разработана методика цветоделительных испытаний цветных фотографических бумаг [19].

Разработка экспериментальных методов цветоделительных характеристик имела принципиальное значение для дальнейшего развития теории цветовоспроизведения. Эти методы позволяют выражать цветоделительные свойства материалов с учетом многочисленных реально действующих факторов, таких как взаимное влияние слоев и влияние экспозиции на эффективность маскирования цветных пленок, содержащих смеси окрашенных и неокрашенных компонент.

Математическая теория цветовоспроизведения основана на использовании линейной алгебры, и в частности приемов матричного исчисления. С помощью этих методов Л. Ф. Артюшиным были построены векторные «уравнения цветовоспроизведения» [20]. По этим уравнениям, включая матрицы цветоделительных (δ) и градационных характеристик (γ), можно рассчитать воспроизведение цветов оригинала, заданных

субтрактивными координатами, в изображении. Так, уравнение цвето-воспроизведения негативного процесса имеет следующий вид:

$$c_n = c_n^0 - \gamma_n \delta^{nn} c, \quad (5)$$

а уравнение негативно-позитивного процесса:

$$c_n = c_n^0 - \gamma_n \delta^{nn} (c_n^0 - \gamma_n \delta^{nn} c). \quad (6)$$

Уравнения цветовоспроизведения позволяют решать не только «прямую задачу», т. е. определять действие тех или иных факторов на цветоделительные и градационные характеристики, а следовательно и на точность цветовоспроизведения, но и «обратную задачу», а именно определять такие характеристики элементарных цветофотографических процессов, которые обеспечат любое наперед заданное цветовоспроизведение.

Разработанные методы цветоделительных испытаний были применены Н. Ф. Семеновой для определения цветоделительных характеристик отечественных цветных негативных и позитивных пленок [14, 15]. В результате было установлено, что вследствие взаимного влияния слоев вредное действие побочных поглощений красителей существенно уменьшается, а это приводит к улучшению цветовоспроизведения. Л. Ф. Артюшиным и Н. Ф. Семеновой было также показано, что взаимное влияние слоев для каждого типа пленки изменяется в зависимости от расположения светочувствительных слоев и поэтому цветоделительные характеристики позитивных пленок с различным расположением светочувствительных слоев существенно различаются [21].

Эффект взаимного влияния слоев, как показали исследования Ю. Н. Гороховского с сотр., изменяется не только от строения пленок, но и от условий их фотографической обработки [22, 23]. Однако Н. Ф. Семенова установила, что при изменении этих условий в пределах, обеспечивающих приемлемые по градационным свойствам изображения, цветоделительные характеристики многослойной пленки практически остаются постоянными [14, 15]. Это имеет большое практическое значение, так как каждый тип фотографического материала оказывается возможным однозначно количественно характеризовать по цветоделению и расчет цветоделительного маскирования производить по этим характеристикам.

Детальное исследование взаимного влияния слоев в цветных пленках провели Д. К. Балабуха и Ю. Н. Гороховский [23, 24]. Они установили, что вследствие взаимного влияния слоев воспроизведение цветных шкал получается более контрастным, чем воспроизведение серых. При этом кривые воспроизведения для различных цветных шкал оказываются по-разному наклоненными и искривленными.

К сожалению, разработанные экспериментальные методы и полученные экспериментальные данные по взаимному влиянию слоев до настоящего времени еще не привели к целенаправленному использованию этого эффекта для улучшения цветовоспроизведения.

Не используется до настоящего времени и такое средство улучшения цветоделения, как аддитивная печать цветных изображений на многослойных пленках, хотя при применении селективных светофильтров, как показали Л. Ф. Артюшин и Н. Ф. Семенова, цветоделительные характеристики улучшаются по сравнению с обычной печатью [21] примерно так же, как и при применяемом в негативных пленках внутреннем маскировании.

Обширные исследования по определению цветоделительных характеристик зональных матричных пленок, используемых в гидротипии, были проведены С. А. Бонгардом [25], а затем и Е. Г. Широковой. Резуль-

таты этих исследований дали возможность выбрать оптимальную сенсбилизацию матричных пленок и светофильтры для печати цветоделенных изображений.

Методы градационных исследований

Одновременно с развитием методов цветоделительных испытаний в НИКФИ Г. С. Барановым, Э. Д. Каценеленбогеном, Л. К. Крупениным и Н. С. Овечкисом проводилась разработка методов градационных испытаний цветных пленок [26—29].

Сенситометрия цветных фотографических материалов базируется на экспонировании серой шкалы при стандартизованных источниках света. Это дает возможность применять для градационных испытаний цветных и черно-белых материалов одну и ту же аппаратуру, одинаковую методику, а также единую систему градационных характеристик, определяемых по характеристическим кривым.

К специфическим градационным характеристикам цветофотографических материалов относятся величины, выражающие разбалансировку слоев по контрастности и светочувствительности.

Результаты проведенной работы легли в основу принятого в 1959 г. Государственного стандарта на метод общесенситометрического испытания (ГОСТ 9160-59), а также в основу «общих принципов» составления соответствующих национальных стандартов для стран СЭВ.

Выражение результатов денситометрических измерений по разработанному методу производится в величинах эффективных плотностей.

Для выражения результатов измерений цветных изображений серых шкал в величинах эффективных плотностей необходимо, как показал Л. К. Крупенин, или проводить специальную градуировку денситометра под каждый тип цветной пленки, или же применять при измерении этих пленок соответствующие им светофильтры [30], как предложили наши чешские коллеги, создатели системы «ВУЗОПТ».

В. М. Бахваловым разрабатывался метод градационных испытаний цветных фотографических бумаг [31].

Исследования по определению эффективных плотностей в отношении светочувствительных приемников глаза и светочувствительных слоев негативной и позитивной пленок, проведенные Ю. Н. Гороховским с сотр., показали, что для изображения серой шкалы зависимость эффективных плотностей от поверхностных концентраций красителей, выраженных в единицах ВЭСР и ФЭСР, может быть признана в рабочем интервале их изменения линейной [32, 33].

Для исследования влияния технологических факторов на цветовоспроизведение в ряде случаев необходимо бывает характеристические кривые определять для отдельных слоев цветной пленки. Для расчета поверхностных концентраций красителей по слоям цветной пленки были разработаны спектрофотометрический [32] и денситометрический [26, 14] методы. Денситометрические измерения для расчета поверхностных концентраций следует проводить на приборах со сравнительно узкими спектральными зонами эффективной светочувствительности, которые бы обеспечивали требуемую аддитивность эффективных плотностей.

Этому требованию отвечают цветные денситометры, разработанные в НИКФИ, а именно ЦД-4, ЦД-7 и ЦД-ФЭУ. Для проведения сенситометрических испытаний разработан цветной сенситометр ЦС-2.

Разработанные методы сенситометрических испытаний используются в производстве и при обработке типовых цветных фотографических материалов, а также при разработке новых типов цветных пленок.

Градационные испытания были применены для выяснения влияния экспозиционных условий съемки на «печатаемость» цветных негативов —

Л. Ф. Артюшин, Н. Д. Нюберг [34], на «печатаемость» цветных контрастов — Т. М. Левенберг [35], а также для выяснения влияния экспозиционных условий на градационные характеристики цветных кинопозитивов [36, 37], для статистического исследования градационных характеристик цветных негативов — Н. П. Адашев и Ю. Н. Гороховский [38] и цветных позитивов — С. А. Друккер и А. М. Курицын [39, 40].

Методы спектральных исследований

Большой цикл работ по исследованию цветвоспроизведения на многослойных пленках, по сенситометрии и особенно по спектральной сенситометрии этих материалов был проведен в ГОИ и ЛИКИ под руководством Ю. Н. Гороховского. Результаты этих исследований обобщены во второй части монографии Ю. Н. Гороховского «Спектральные исследования фотографического процесса» [12].

Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха и О. М. Понаморенко разработали методику спектросенситометрических испытаний цветных пленок, основанную на использовании спектросенситометра (ИСП-73), выпускаемого отечественной промышленностью, и спектрофотометра СФ-4 со специальной приставкой для измерения сенситограмм [41, 42]. По этой методике были определены спектральные фотографические свойства цветных немаскированных негативных [43] и цветных позитивных [44] пленок.

Впоследствии Л. Ф. Артюшиным, Л. В. Гречко и Н. В. Алексеевой была разработана методика по определению спектральной чувствительности маскированных негативных пленок и определены характеристики этих пленок [45].

Спектральные исследования цветных пленок имеют исключительно важное значение для теории цветвоспроизведения, так как только по спектральным характеристикам можно определять цветоделительные характеристики гипотетических цветных материалов и оптимальные параметры проектируемых процессов маскирования.

Ю. Н. Гороховским и И. Н. Конюшковой показано, что у цветных негативных и позитивных пленок в пределах зоны спектральной чувствительности слоя коэффициент контрастности сравнительно мало меняется в зависимости от длины волны монохроматического излучения [12, 46]. Поэтому расчетное определение фотографического эффекта и цветоделительных характеристик для цветных негативных и позитивных пленок может производиться по уравнениям, не включающим члены для учета этой зависимости. У матричных пленок, как показали исследования Е. Г. Широковой, наблюдается очень сильная зависимость коэффициента контрастности изображения от длины волны излучения. И в этом случае возникают очень серьезные затруднения с расчетным определением величины фотографического эффекта.

С целью выяснения допустимого расширения зон эффективной спектральной чувствительности слоев немаскированной негативной пленки Ю. Н. Гороховским и К. Б. Поповой было проведено исследование, в котором на исследуемые слои печатались диапозитивы. Было установлено, что для негативных пленок допустимо не более чем 20% по площади перекрытие зон спектральной чувствительности смежных слоев [47].

Работы по исследованию спектральной чувствительности многослойных кинофотоматериалов, проведенных в СССР, представляют собой существенный вклад в науку и практику цветной фотографии.

Методы колориметрических исследований

Для достижения возможно лучшего цветвоспроизведения имеет существенное значение выбор красителей для субтрактивного синтеза [48, 49].

Для характеристики многообразия цветов, которые могут быть выполнены красителями субтрактивного синтеза, иностранными исследователями используются, как правило, графики, на которых в двухмерном пространстве выражаются лишь координаты цветности. Для более полной характеристики субтрактивного синтеза в НИКФИ Н. С. Овечкисом была предложена и разработана зональная система трехцветных координат. Эта система дает возможность найти для любого излучения сложного спектрального состава совершенно точно соответствующую по цвету комбинацию трех зональных излучений [50].

Зональная система позволяет сравнительно просто, а именно с помощью линейных уравнений, переходить от любых субтрактивных координат к некоторым стандартизованным и идеализированным зональным координатам цвета [51, 52]. Это дает возможность сравнивать по точности цветвоспроизведения процессы с различными субтрактивными синтезами, а после несложных преобразований выражать результаты этого сравнения в стандартизованной международной системе цветовых измерений [52, 53]. Это является дополнением к дубликационной теории в части сравнения процессов с различным позитивным синтезом.

Исследования по сравнению цветвоспроизведения в различных процессах проводились в НИКФИ М. Н. Герасимовичем [53].

Для количественной характеристики цветового охвата различных репродукционных процессов и реально фотографируемых объектов Д. К. Балабуха разработал оригинальную методику, позволяющую отображать все цвета в трех проекциях тела цветового охвата [54—56].

Для сквозной характеристики цветвоспроизведения, а также для характеристики взаимного влияния слоев были предложены тест-объекты, позволяющие на различных этапах цветофотографического процесса определить границы тела цветового охвата [57].

Н. В. Алексеевой предложено для точной количественной характеристики субтрактивного синтеза использовать линейные и нелинейные цветоделительные характеристики и расчетно определять эти характеристики для каждой триады красителей синтеза в отношении приемников со спектральной чувствительностью, подобной кривым сложения стандартизованных первичных цветов аддитивного синтеза [58]. Для расчетного определения поверхностных концентраций красителей, создающих заданный фотографический или визуальный эффект, а также для расчета цветоделительных характеристик и цветовых координат разработаны программы вычисления на электронно-счетной машине [59].

Для характеристики визуального отличия цветов оригинала от цветов изображения нередко используются величины цветовых порогов. Однако для их определения ранее приходилось цвета изображения выражать сначала в аддитивных координатах, а затем уже по цветовым графикам определять количество цветовых порогов, характеризующих различие сравниваемых цветов по цветности.

В тех случаях, когда цвета оригинала и изображения даны в величинах субтрактивных координат, количественную характеристику визуального отличия этих цветов можно провести при выражении цветовых порогов через величины поверхностных концентраций цветовых порогов. Работы по «концентрационному выражению цветовых порогов» были проведены Г. Н. Раутианом с Н. В. Лобановой и Н. И. Сперанской [58], Ю. Н. Гороховским с К. Б. Поповой [59], а также Д. К. Балабухой с Д. Г. Сальниковой [60].

Большинство теоретических работ по цветовоспроизведению, выполненных советскими исследователями, имеет конечной целью то или иное усовершенствование цветофотографического процесса, а не создание расчетных методов для оценки качества цветовоспроизведения или оценки отличия изображения от оригинала. Эти теоретические и сопутствующие им экспериментальные работы заложили основы для создания теории цветовой коррекции киноизображений, которая начала разрабатываться в начале 50-х годов [63].

Для улучшения цветовоспроизведения применяются, как известно [64], различные способы фотографической и электронной цветовой коррекции. К первым относятся способы внешнего маскирования цветных негативов черно-белыми изображениями, а также способы внутреннего маскирования. Из способов внутреннего маскирования наиболее распространенным и практически применяемым является тот, который основан на применении окрашенных компонент в многослойных пленках.

Электронная цветовая коррекция осуществляется на электронных копировальных аппаратах — цветокорректорках, позволяющих производить поэтапную развертку цветоделенных изображений.

Экспериментальные и теоретические исследования различных способов внешнего маскирования проводились в НИКФИ начиная с 1952 г. В результате этих исследований для всех четырех, в том числе двухступенных, способов внешнего маскирования цветных и цветоделенных изображений разработана методика расчета коэффициентов контрастности масок, обеспечивающих любое заданное, в том числе и дубликационно-точное цветовоспроизведение [65]. С помощью этой [63] методики НИКФИ совместно с Лабораторией обработки цветных фильмов (ЛОЦФ) была разработана производственная технология процесса цветного контрастирования, проводимая с применением внешнего маскирования [66].

Способы внешнего маскирования могут найти в кинематографии лишь ограниченное применение, например при проведении комбинированных съемок.

Более перспективными являются способы внутреннего маскирования, особенно способы, основанные на применении окрашенных компонент в цветных негативных пленках.

Теоретические и экспериментальные исследования, связанные с созданием маскированных негативных и дубль-негативных пленок, проводились в течение ряда лет в НИКФИ и его филиалах, а также в лабораториях Шосткинского и Казанского химических заводов, А. Н. Иорданским, И. М. Килинским, Ю. Б. Вилевским, З. К. Авербухом, Л. В. Гречко, Л. Ф. Артюшиным и др.

В результате этих исследований процесса внутреннего маскирования было установлено, что для дубликационно-точного цветовоспроизведения в дубль-негативные пленки необходимо вводить окрашенные компоненты во все три светочувствительные слоя, а именно в сине- и красочувствительный слой — пурпурноокрашенную компоненту, а в зеленочувствительный слой — зеленоокрашенную компоненту [67, 68, 63, 11].

В негативных пленках вследствие неизбежного снижения светочувствительности нижних слоев от применения таких компонент, а следовательно и от дубликационно-точного цветоделения, следует отказаться и ограничиться применением лишь двух маскирующих компонент, причем в зеленочувствительном слое должна применяться не зелено-, а желтоокрашенная компонента.

Естественно, что при таких ограничениях неизбежны некоторые цветовые искажения. Основная задача в этом случае сводится к тому,

чтобы выбрать такие параметры маскирования, и в частности такую окраску компонент, которая позволяла бы получать изображения с наименее заметными цветовыми искажениями.

Для учета указанных ограничений Л. Ф. Артюшин предложил такой расчет параметров маскирования негативных пленок, чтобы сквозные цветоделительные характеристики находились в строго определенном соотношении, обеспечивающем неизменность цветового тона деталей фотографируемого объекта. В то же время понижение насыщенности, неизбежное при практически осуществимом неполном маскировании, должно быть прямо пропорциональным для всех цветов [67, 68].

Разработанная методика отличается тем, что позволяет определять оптимальные параметры маскирования с учетом ограниченных возможностей процесса и многочисленных практически действующих факторов.

По разработанной методике были расчетно определены оптимальные параметры маскирования цветных негативных и дубль-негативных пленок и сформулированы научно обоснованные технические требования к новым пленкам.

Для экспериментального исследования и для контроля эффективности маскирования в Советском Союзе широко используются методы сквозных цветоделительных испытаний. Экспериментальные исследования в этом направлении проведены Л. В. Гречко, Н. Ф. Семеновой; М. Н. Герасимовичем разработана методика определения соотношений между полезными и вредными эффективными плотностями маскированных изображений [70].

Исследования по цветовоспроизведению показали, что в отечественных маскированных пленках имеются существенные резервы для дальнейшего улучшения цветовоспроизведения. В первую очередь цветовоспроизведение может быть улучшено за счет уменьшения маскирования голубого изображения в синей зоне спектра и увеличения маскирования этого изображения в зеленой зоне.

Для совершенствования цветных негативных пленок большое значение имеют комплексные лабораторные и производственные испытания.

В 1965—1967 гг. на киностудии «Мосфильм» под руководством оператора Ф. Ф. Проворова были проведены широкие производственные испытания ряда негативных пленок, различающихся по содержанию желтоокрашенной компоненты в красочувствительном слое. В результате этих испытаний было также установлено, что для улучшения цветовоспроизведения маскирование голубого изображения в синей зоне должно быть несколько меньше, чем это требуется для маскирования голубого негативного изображения.

Кинотелевизионные методы цветовой коррекции

В последние годы в кинотехнике начинают находить применение методы цветного телевидения. Некоторыми зарубежными фирмами разработаны специальные электронные цветокорректоры для дублирования цветных диапозитивов и телевизионные аппараты для установки света при печати фильмокопий.

Теоретические исследования по разработке таких цветокорректоров проводились в СССР в предыдущие годы в полиграфии. В последние годы в НИКФИ были проведены работы по созданию систем электронной цветовой коррекции киноизображений [11]. Разработана методика расчета параметров нелинейной цветоделительной коррекции, имеющей большое значение для процессов, которым свойственно сильное взаимное влияние слоев и красок [71]. Разработан принципиально новый способ

электронной цветовой коррекции, обеспечивающей автоматическое ее программирование [11].

Идея этого способа заключается в одновременной развертке тест-оригинала и тест-изображения и фиксации в запоминающем устройстве получаемого таким образом сигнала разности, который характеризует цветное искажение. Этот способ обеспечивает не только автоматизацию процесса программирования цветовой коррекции, но и позволяет получать дубликционно-точное цветовоспроизведение при сколь угодно сложных нелинейных цветофотографических характеристиках. Для практической реализации этого способа предложено одно из возможных устройств, в котором для запоминания сигналов используется электроннолучевая трубка с экспонируемой на ней полупрозрачной фотографической маской [11].

Психофизиологический аспект теории цветовоспроизведения и цветовой коррекции

Исходя из того что для зрительного восприятия более допустимым является упорядоченное преобразование всего многообразия цветов, чем «выпадения» отдельных цветов, Н. Д. Ньюберг ввел понятие о «психологической» точности воспроизведения. «Психологически точным изображением» он предложил считать такое, в котором изменение цвета какого-либо участка без изменения цвета других участков вызывает ухудшение зрительной оценки. В качестве примеров психологически точных изображений он предложил «разбеленное» изображение, создаваемое, например, на матовом стекле фотоаппарата при некотором количестве постороннего света; черно-белые яркостные или неяркостные изображения и «подбеленное» изображение.

В развитие этого психофизиологического аспекта теории цветовоспроизведения Л. Ф. Артюшиным было предложено за допустимые принимать те преобразования, которые характеризуют изменение восприятия цветов (в том числе и мелких деталей) в зависимости от условий рассматривания [11].

Таким образом, за допустимые принимаются преобразования цветов, которые описывают изменение восприятия цветов, происходящее при некотором изменении освещенности объекта или его угловых размеров.

В результате изучения экспериментальных данных, полученных Хантом с помощью бинокулярного метода сравнения цветов (при разной адаптации глаз), было установлено [11], что прямо пропорциональное снижение насыщенности цветов может быть отнесено к допустимым цветовым преобразованиям. Такое снижение насыщенности воспринимаемых цветов происходит как при изменении освещенности объекта, так и при изменении его угловых размеров, т. е. в повседневных условиях рассматривания объектов.

В результате изучения экспериментальных данных по контрастной чувствительности глаза, полученных Лаури, Абриба, Доути и Портусом, было установлено, что снижение контрастности изображения только крупных деталей может быть отнесено к допустимым градационным преобразованиям.

Для выражения допустимого цветового преобразования предложено использовать четырехкомпонентную модель субтрактивного процесса, создающего зачерненное изображение [68]. Это зачерненное изображение можно представить в виде суммы дубликционно-точного цветного изображения, сложенного с мало контрастным черным изображением, создаваемым (по аналогии с палочковым аппаратом зрения) четвертым светочувствительным приемником.

Показано, что если цветоделительную коррекцию проводить по параметрам, обеспечивающим получение таких сквозных цветоделительных характеристик, какими обладают зачерненные изображения, то можно будет получить психологически точные изображения. В этих изображениях цветовой тон деталей оригинала не будет искажен, а неизбежное при неполной цветоделительной коррекции понижение насыщенности будет прямо пропорциональным для всех цветов.

Большие возможности по достижению психологически точных изображений открывают электронные методы четырехкомпонентной цветоделительной, нелинейной градационной и частотно-контрастной коррекции. Выбор оптимальных для каждого сюжета параметров электронного маскирования можно производить визуально с помощью видеоконтрольного устройства.

Использование бинокулярных видеоконтрольных устройств позволит, по-видимому, производить выбор оптимальных параметров маскирования с учетом разницы восприятия цветов оригинала и изображения, рассматриваемых в различных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. Д. Ньюберг, Тр. Науч.-иссл. инст. ОГИЗа, 1935, 2.
- [2] И. А. Медовщиков, Н. Д. Ньюберг, Ж. полиграф. производ., 1937, 4, 8; Применение способа масок в цветной репродукции. Изд. Гизлегпром, М., 1940; в кн.: Ю. К. Лауберт, И. А. Медовщиков, Н. Д. Ньюберг. Цветная фотомеханическая репродукция. Гизлегпром, М., 1941, 263—289.
- [3] N. D. Nyberg, Z. Phys., 1928, 52, 406.
- [4] Н. Д. Ньюберг, в кн.: А. Клейн. Цветная кинематография. Госкиноиздат, М., 1939.
- [5] Н. С. Овечкин, Кинофотохимпром., 1940, 6, 49.
- [6] Г. С. Баранов, Кинофотохимпром., 1939, 5, 31.
- [7] Я. И. Боканик, Кинофотохимпром., 1940, 6, 44; Теория и практика цветной фотографии. Госкиноиздат, М., 1941.
- [8] Н. Д. Ньюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Сов. Наука», Л., 1948.
- [9] N. D. Nyberg, Z. wiss. Phot., 1955, 50.
- [10] Н. Д. Ньюберг, Усп. науч. fotogr., 1954, II, 134.
- [11] Л. Ф. Артюшин. Автореф. докт. дисс. НИКФИ, М., 1968.
- [12] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, М., 1960.
- [13] Н. Д. Ньюберг, Г. С. Баранов, Н. С. Овечкин, Усп. науч. fotogr., 1954, II, 72.
- [14] Н. Ф. Семенова. Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1955.
- [15] Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1957, 10, 45.
- [16] Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1958, 4, 52.
- [17] Л. Ф. Артюшин, Н. Ф. Семенова, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1960, 5, 101.
- [18] Л. Ф. Артюшин, Н. Ф. Семенова, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1962, 7, 418.
- [19] В. М. Бахвалов, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1960, 5, 446.
- [20] Л. Ф. Артюшин, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1958, 3, 120.
- [21] Л. Ф. Артюшин, Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1962, 2, 1.
- [22] Ю. Н. Гороховский, Усп. науч. fotogr., 1955, IV, 295.
- [23] Д. К. Балабуха, Ю. Н. Гороховский, Усп. науч. fotogr., 1954, II, 119.
- [24] Д. К. Балабуха, Н. В. Макова, Техн. кино и телевид., 1959, 7, 11; 1960, 12, 31.
- [25] С. А. Бонгард, М. И. Виноцкая, Усп. науч. fotogr., 1962, VIII, 92.
- [26] Г. С. Баранов, в сб.: Цветная кинематография, изд. «Искусство», М., 1955.
- [27] Г. С. Баранов, Н. С. Овечкин, Э. Д. Каценеленбоген, Л. К. Крупенин, Тр. НИКФИ, 1957, 10, 130.
- [28] Г. С. Баранов, Э. Д. Каценеленбоген, И. Е. Клебенкова, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1963, 8, 71.
- [29] Г. С. Баранов, Э. Д. Каценеленбоген, И. Е. Клебенкова, Л. К. Крупенин, Усп. науч. fotogr., 1962, VIII, 210.

- [30] Л. К. Крупенин, Техн. кино и телевид., 1965, 6, 44.
- [31] В. М. Бахвалов, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 216.
- [32] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 85; ДАН СССР, 1951, 79, 73—76; 1954, 71, 73.
- [33] Ю. К. Вифанский, Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, Усп. научн. фотогр., 1957, 5, 127.
- [34] Л. Ф. Артюшин, Н. Д. Ньюберг, Техн. кино и телевид., 1959, 4, 11.
- [35] Н. Б. Варшавская, Т. М. Левенберг, Л. К. Локуцневская, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 172.
- [36] Л. Ф. Артюшин, Техн. кино и телевид., 1962, 7, 23.
- [37] Л. Ф. Артюшин, Техн. кино и телевид., 1962, 12, 56.
- [38] Н. П. Адашев, Ю. Н. Гороховский, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 134.
- [39] А. М. Курицын, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1968.
- [40] С. А. Друккер, С. А. Болдырева, А. М. Курицын, М. А. Мурашова, Техн. кино и телевид., 1968, 3, 6.
- [41] Ю. Н. Гороховский, Д. К. Балабуха, О. М. Пономаренко, Усп. научн. фотогр., 1954, II, 105; ДАН СССР, 1951, 79, 591.
- [42] Jn. N. Gogolsky, Z. wiss. Phot., 1956, 51, 17.
- [43] Свойства фотографических материалов на прозрачной подложке. Справочник. Под ред. Ю. Н. Гороховского, С. С. Гилева, ГИТТЛ, М., 1955.
- [44] Л. Ф. Артюшин, Н. В. Алексеева, Л. В. Гречко, Техн. кино и телевид., 1967, 7, 9.
- [45] Л. Ф. Артюшин, Н. В. Алексеева, Л. В. Гречко, Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1967, 2, 19.
- [46] Ю. Н. Гороховский, И. Н. Конюшкова, ДАН СССР, 1955, 104, 469.
- [47] Ю. Н. Гороховский, К. Б. Попова, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 146.
- [48] N. D. Nyberg, Z. wiss. Phot., 1956, 51, 1.
- [49] Н. Д. Ньюберг, Пробл. физiol. оптики, 1964, 6.
- [50] Н. С. Овечкин, Пробл. физiol. оптики, 1953, 8; Усп. научн. фотогр., 1954, II, 145.
- [51] Н. С. Овечкин, в сб.: Цветная кинематография, изд. «Искусство», М., 1955.
- [52] Н. С. Овечкин, Л. Ф. Артюшин, Техн. кино и телевид., 1957, 9, 45.
- [53] Н. С. Овечкин, Л. Ф. Артюшин, М. Н. Герасимович, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 155.
- [54] Д. К. Балабуха, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1961, 8, 405; 1962, 7, 409; 1963, 8, 10.
- [55] Д. К. Балабуха, Л. К. Локуцневская, Л. И. Херсонская, Усп. научн. фотогр., 1962, VIII, 161.
- [56] Д. К. Балабуха, Т. М. Левенберг, Л. К. Локуцневская, Г. Н. Христинина, Тр. ЛИКИ, 1961, 6, 91.
- [57] Д. К. Балабуха, М. М. Мирфазиева, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 440; 1965, 10, 84.
- [58] Н. В. Алексеева, Техн. кино и телевид., 1969, 4, 17.
- [59] Л. Ф. Артюшин, Н. В. Алексеева, В. В. Курник, Техн. кино и телевид., 1964, 1, 5.
- [60] Г. Н. Раутман, Н. В. Лобанова, Н. И. Сперанская, Усп. научн. фотогр., 1957, V, 145.
- [61] Ю. Н. Гороховский, К. Б. Попова, ДАН СССР, 1956, 107, 63.
- [62] Д. К. Балабуха, Д. Г. Сальникова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1966, 11, 121.
- [63] Л. Ф. Артюшин, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1955.
- [64] Л. Ф. Артюшин, Техн. кино и телевид., 1957, 10, 64.
- [65] Л. Ф. Артюшин, Техн. кино и телевид., 1957, 6, 22; 1958, 2, 13; Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1959, 4, 202; 1960, 5, 101.
- [66] Л. Ф. Артюшин, Т. Н. Байкалова, Н. С. Овечкин, Н. Ф. Семенова, Техн. кино и телевид., 1959, 1, 7.
- [67] Л. Ф. Артюшин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 168.
- [68] Л. В. Гречко, Л. Ф. Артюшин, Ю. Б. Виленский, Техн. кино и телевид., 1963, 6, 1.
- [69] Л. Ф. Артюшин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 113.
- [70] М. Н. Герасимович, Л. В. Гречко, Н. П. Блок, Ю. Б. Виленский, Техн. кино и телевид., 1963, 4, 23.
- [71] Л. Ф. Артюшин, С. А. Бонгард, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1964, 9, 174.

Д. С. ВОЛОСОВ

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Отечественная фотографическая оптика прошла сравнительно краткий, но эффективный путь развития. Успехи этой сложной отрасли оптической техники в СССР почти целиком связаны с работами Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (ГОИ), организованного вскоре после Великой Октябрьской революции. Институт явился научно-техническим центром нашей оптико-механической промышленности и оказал исключительное влияние на развитие научной и прикладной оптики в СССР [1].

Все эти годы фотографическая оптика развивалась как в направлении форсирования оптических характеристик — светосилы и угла поля зрения, так и совершенствования качества оптического изображения — разрешающей силы и контраста изображения. Были созданы фотографические системы с постоянными и переменными оптическими характеристиками для работы в различных областях спектра и для разных областей применения с различными приемниками изображений.

Из маленьких групп по разработке и исследованию фотооптики в ГОИ возникла лаборатория, а позднее — возглавляемый автором научный отдел по разработке оптических схем, расчету и экспериментальным исследованиям и испытаниям фотографических и проекционных систем различного назначения.

Этим коллективом было создано много оригинальных систем: группа светосильных широкоугольных анастигматов «Уран» для съемки при пониженной освещенности; светосильные телеобъективы «Таир» для наземного фотографирования удаленных объектов и телевидения; «семейство» телеобъективов «Телемар» для аэросъемки; нерасстраивающиеся при изменении температуры телеобъективы «Ленинград», высокоразрешающие нерасстраивающиеся телеобъективы «Телегоир»; «семейство» высокоортоскопических широкоугольных объективов «Ортогон» для топографической аэросъемки в разных масштабах; длиннофокусные широкоугольные анастигматы «Родон» и «Секстар»; особосветосильные зеркально-линзовые системы «Антарес» для проекции телевизионных изображений на больших экранах и ширококадровой флюорографии; «семейство» анаморфотных анастигматических систем «Бифокатор» («НАС») для широкоэкранной кинематографии; большая группа линзовых и зеркально-линзовых анастигматов для любительской фотографии (объективы «Мир», «Эра», «Таир», «Вега», «МТО»); объективы с переменным фокусным расстоянием для любительской кинематографии и телевидения (типа «Местоименный», «Гранит», «Алькор», «Агат»). Этот далеко не полный перечень выполненных разработок характеризует широту и разнообразие решавшихся задач.

Наряду с созданием теории и методов расчета оптических, в частности фотографических систем (А. И. Тудоровский, Г. Г. Слюсарев, Д. С. Волосов), разрабатывалась методика их исследований, испытаний и контроля (В. П. Линник, Е. Н. Царевский, Е. Г. Яхонтов, Л. П. Мороз, А. Т. Ащеулов, Э. Я. Соколовский).

Современный научно-технический уровень отечественного объективостроения, техническое оснащение и технологическая культура этой отрасли оптического производства позволяют создавать фотографические и проекционные системы любой сложности.

Конкретным разработкам объективов сопутствовали теоретические и методические исследования, обеспечивающие развитие объективостроения. Эти работы были обобщены в книгах и монографиях по теории и методам расчета оптических, в частности фотографических и проекционных систем [1—10].

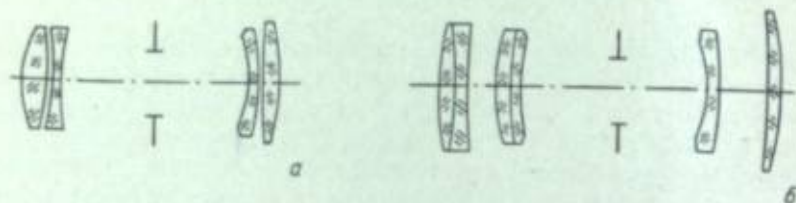


Рис. 1. Оптические схемы телеобъективов «Телемар» (а) и «Телегонр» (б).

Отдельные разработки по фотооптике выполняли группы оптиков ЦКБ наших оптико-механических и киномеханических заводов и кафедр оптики высших учебных заведений: ЛИТМО (кафедрой М. М. Русина), ЛИКИ (кафедрой Д. С. Волосова), МВТУ им. Баумана (кафедрой И. А. Турыгина).

Не имея возможности сколько-нибудь подробно осветить достигнутые результаты по каждому из направлений развития фотооптики, остановимся лишь на краткой характеристике наиболее удачных оптических схем отечественных объективов и некоторых областях их применения.

Для обзорной аэрофотосъемки уже много лет применяют группу телеобъективов, разработанных нами еще в 1941—1944 гг. и названных «Телемарами».

Во второй половине 50-х годов на основе развитой автором теории термооптических aberrаций было завершено создание группы телеобъективов «Ленинград», нерасстраивающихся при изменении температуры. Их оптическую схему удалось сохранить столь же простой, как у «Телемаров» (рис. 1, а).

Свойства нерасстраиваемости были достигнуты рациональным выбором термооптических констант стекол:

$$V = \frac{\beta}{n-1} - \alpha,$$

где β — температурное приращение показателя преломления n ; α — температурный коэффициент расширения стекол.

Дальнейшее развитие работ этого направления привело к созданию оптически более совершенных телеобъективов — «Телегонров» (рис. 1, б).

Эти шестиступенчатые нерасстраивающиеся объективы обладают весьма совершенным качеством фотографического изображения, сравнительно малой дисторсией в пределах (больших для телеобъективов) полей зрения 30° ; им может быть присущ весьма широкий диапазон фокусных расстояний. Например, телеобъектив «Телегонр-3» ($f' = 1200$ мм, $1:8$,

30×30 см) на обычном фотоматериале изопанхром тип 17 разрешает около 40 мм^{-1} по всему полю.

Для съемки при пониженных освещенностях уже более 20 лет применяют серийно выпускаемые светосильные анастигматы «Уран» (рис. 2, а) широкого диапазона оптических характеристик. Эти системы были созданы в результате многолетней работы Д. С. Волосова и его сотрудников.

Оптическая схема светосильных широкоугольных анастигматов «Уран» оказалась весьма универсальной: объективы этого типа имеют различные фокусные расстояния — от 18 до 750 мм; относительные отверстия от $1:2$ до $1:3.5$, и поля зрения от 63° до 30° . Их применяют в некоторых фотографических установках. В частности, широкую известность получили «Уран-10» и «Уран-27» ($f' = 100$ мм, $1:2.5$, $2\omega = 63^\circ$), применяющиеся в малоформатном аппарате 39.

Значительная работа была выполнена при разработке «Урана» по совершенствованию методики расчета: впервые в повседневную практику

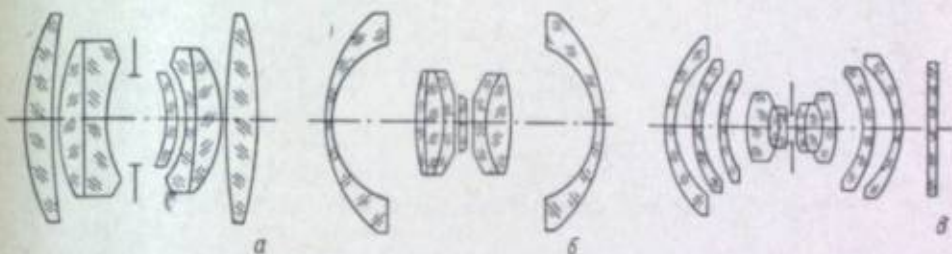


Рис. 2. Оптические схемы объективов «Уран» (а), «Руссар» (б) и «Ортогон» (в).

была введена коррекция aberrаций «косых» лучей. Исключительно большую помощь при разработке объективов оказывали работы по совершенствованию методики испытаний, созданию контрольной аппаратуры, необходимой для организации объективостроения в институте; особенно эти работы оказали нам большую помощь в годы создания первых новых оптических схем объективов, свойства которых были еще недостаточно известны.

Для топографической аэросъемки с небольших высот в результате многолетней работы М. М. Русина была создана группа широкоугольных объективов «Руссар» с различными оптическими характеристиками. В результате применения наружных отрицательных менисков в объективах «Руссар» (рис. 2, б) была достигнута повышенная равномерность распределения освещенности изображения по полю.

За последние годы в ГОИ была разработана группа весьма совершенных широкоугольных высокоортоскопических объективов «Ортогон» (рис. 2, в) с фокусными расстояниями 75, 100 и 140 мм и относительными отверстиями соответственно $1:6.3$ и $1:5.6$ для формата снимка 18×18 см. Дисторсия объективов не превышает 10 мк при высоком контрасте оптического изображения; они корригированы с плоскопараллельной пластиной, выравнивающей аэропленку.

Объективы «Ортогон» позволяют и дальнейшее расширение поля зрения — до $130-140^\circ$, но при этом необходимо применение хотя бы одной асферической поверхности. Как показали исследования, все «семейство» объективов «Ортогон» обладает высоким качеством оптического изображения и находится на современном техническом уровне.

Выдержавшими испытания временем оказались оптические схемы светосильных телеобъективов «Таир» (рис. 3, а, б), изобретенные автором в августе 1943 г.

Телеобъективы имеют двухкомпонентную схему, в которой первый компонент обладает свойствами обычного коллиматорного объектива, а второй компонент — менисковая «толстая» линза малой оптической силы, преломляющие поверхности которой обладают большой кривизной; мениск корригирует астигматизм и кривизну поверхности изображения, присущие коллиматорному объективу.

Первые варианты «Таира» предназначались нами для фотоустройств «Фотоснайпер» («ФС») для наземного фотографирования удаленных объектов. На протяжении многих лет серийно выпускались приборы типа «Фоторужья»: «ФС-1» с объективом «Таир-3», $f' = 300$ мм, 1 : 4.5 и «ФС-3» с объективом «Таир-4»; $f' = 600$; 1 : 4.5.

Различные варианты объектива «Таир» нашли широкое применение в фотографии (объективы «Таир-3» и «Таир-11»); в профессиональной 35-мм кинематографии (объективы «ОКС-150», «ОКС-200», «ОКС-300»), в любительской 16-мм кинематографии; в телевидении, где применяется

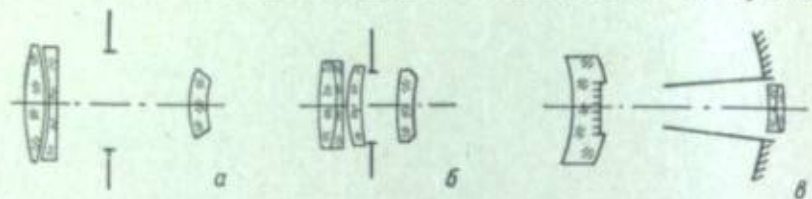


Рис. 3. Оптические схемы объективов «Таир» (а, б) и МТО (с).

группа объективов марки «Таир-Т» с разными фокусными расстояниями — от 135 до 1000 мм.

Приблизительно в это же время Д. Д. Максутовым были изобретены оригинальные зеркально-линзовые менисковые телеобъективы («МТО»), получившие широкую известность. Они представляют двухзеркальную систему классического типа Кассегрена с менисковой линзой-компенсатором, расположенным впереди большого зеркала (рис. 3, с) в параллельном пучке лучей, и линзовым компонентом, расположенным позади малого зеркала в сходящемся пучке лучей. Менисковая линза-компенсатор преимущественно корригирует сферическую aberrацию и кому, вносимую двухзеркальной системой, а линзовый компонент корригирует астигматизм и кривизну поверхности изображения.

Менисковые зеркально-линзовые телеобъективы применяют в любительских фотоаппаратах (МТО-500», $f' = 500$ мм, 1 : 8; «МТО-1000», $f' = 1000$ мм, 1 : 10). Схемы зеркально-менисковых систем нашли широкое применение в астрономии и астрофотографии.

Развитием схемы «МТО» явились разработанные нами в годы войны перископические длиннофокусные зеркально-линзовые фотообъективы для «дальнбойной фотографии» («ПДФ») с фокусными расстояниями 1500 и 3000 мм. Имея малые габариты (при $f' = 3000$ мм общая длина системы составляла лишь 700 мм), эти легко транспортируемые фотографические устройства позволяли в полевых условиях изготавливать фотопанораму удаленных объектов для последующего их рассматривания.

Не останавливаясь на хронологической последовательности оптических разработок в этих областях, укажем, что уже к началу 50-х годов отечественное объективостроение обладало достаточно широким набором оригинальных объективов, оптические параметры которых находились на уровне зарубежных достижений.

Напомним, что в 1958 г. на всемирной выставке в Брюсселе группа фотографических объективов получила наивысшую оценку — «Гран-при». В эту группу вошли объективы: «МР-2» ($f' = 19$ мм; 1 : 5.6), «МР-1» ($f' = 37$ мм; 1 : 2.8), «Гелиос-40» ($f' = 85$ мм; 1 : 1.5), «Таир-11» ($f' = 135$ мм;

1 : 2.8), «Таир-3» ($f' = 300$ мм; 1 : 4.5), «МТО-500» ($f' = 500$ мм; 1 : 8), «МТО-1000» ($f' = 1000$ мм; 1 : 10), т. е. комплект оригинальных объективов для фотоаппаратов 24 × 36 мм.

К сожалению, еще не всегда при массовом (в частности, при конвейерном) производстве серийный экземпляр объектива сохраняет в должной мере качества эталонного образца. Для устранения этого положения проводится большая работа, которая обеспечит технико-технологические условия для дальнейшей разработки усовершенствованных объективов, обычно имеющих более сложные оптические схемы, обладающих повышенными оптическими качествами и, следовательно, требующих более тщательного изготовления.

За последние годы набор объективов, разработанных для фотографии, кинематографии и телевидения, существенно расширился.

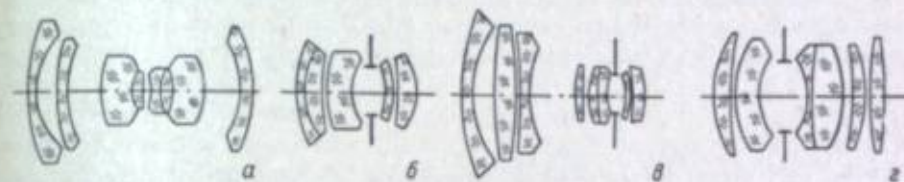


Рис. 4. Оптические схемы объективов «Спутник» (а), «Вега» (б), «Мир» (с) и «Дра» (с).

Наибольший интерес по группе любительских фотообъективов представляют следующие объективы: «Спутник-4» ($f' = 20$ мм; 1 : 4.5; рис. 4, а); «Индустар-61» ($f' = 50$ мм; 1 : 2.8); «Вега-3» ($f' = 50$ мм; 1 : 2.8; рис. 4, б). Светосильные и широкоугольные объективы для зеркальных камер 24 × 36 мм: «Мир-14» ($f' = 24$ мм; 1 : 3.5), «Мир-10» ($f' = 28$ мм; 1 : 3.5; рис. 4, в), «Дра-6» ($f' = 50$ мм; 1 : 1.5; рис. 4, г) и др.

На достаточно высоком уровне находится отечественная кинооптика для всех систем кинематографа: обычного, широкоэкранного и широкоформатного.

Оптические схемы основных съемочных и проекционных объективов для всех систем кинематографа были первоначально разработаны в ГОИ. В тех случаях, когда конкретным разработкам должны были предшествовать теоретические работы и методикорасчетные исследования, действительную помощь неизменно оказывал ГОИ. Например, при рождении отечественного широкоэкранного кинематографа возникла необходимость создания высокоразрешающих светосильных анаморфотных съемочных анастигматов. В течение двух-трех лет в ГОИ была создана теория и методика расчета систем этого класса и разработаны основные оптические схемы широкоугольных анаморфотов «Бифокатор» («НАС»). Последующие работы ЛИКИ в творческом содружестве с Ленинградским ЦКБК привели к созданию первоклассных по оптическим свойствам систем этого типа, по многим параметрам превосходящим лучшие зарубежные образцы.

В частности, в наших анаморфотных системах при полях зрения, достигающих 90°, и при относительных отверстиях до 1 : 2.5 почти полностью устранены те остаточные анаморфотные искажения, которые присущи многим зарубежным системам этого типа при воспроизведении (дезанаморфировании) киноизображения.

За последние годы большее внимание стали уделять как у нас, так и за границей любительской 8- и 16-мм кинематографии. Наибольшую и за границей любительской 8- и 16-мм кинематографии. Наибольшую трудность, как показали наши исследуемые разработки малогабаритные сообщения, представляют выполняющие разработки малогабаритные

ных объективов с переменным фокусным расстоянием. Мы имеем здесь в виду объективы, интенсивно разрабатывающиеся также во многих странах, следующих групп.

1. Объективы с широкими (10-кратными и более) пределами изменения фокусного расстояния. Удалось здесь получить систему «Вариогор» (рис. 5) с 10-кратным изменением фокусного расстояния: от 12 до 120 мм при отверстии 1 : 2.4 для 16-мм кинокамер и от 7 до 70 мм при отверстии 1 : 1.9 для кинокадра «Супер-8».

2. Объективы высокой светосилы с 4—5-кратным изменением фокусного расстояния. Был создан объектив «Гранит» с фокусным расстоянием 7.5—36 мм и отверстием 1 : 1.4 для 8-мм кинокамеры «Лантан». Продолжается разработка более светосильного объектива с отверстием 1 : 1.2 с переменным фокусным расстоянием от 8 до 40—48 мм.

3. Малогабаритные и оптически простые афокальные насадки с малыми пределами изменения увеличений — в 2.5—3 раза. Насадка устанавливается впереди объектива 8-мм кинокамеры, создавая систему с переменным фокусным расстоянием.

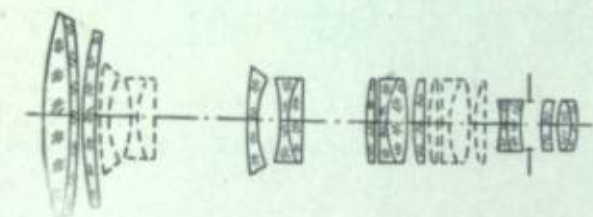


Рис. 5. Оптическая схема объектива «Вариогор».

несколько вариантов трехкомпонентных афокальных систем. Будучи установленными впереди объектива ($f' = 12.5$ мм, 1 : 1.8), они образуют систему, названную нами «Агат», у которой фокусное расстояние изменяется от 9 до 23 мм при

эти работы также являются перспективными и будут продолжены.

Описанные выше системы чаще всего обладают механической компенсацией дефокусировки изображения, когда постоянство положения плоскости изображения достигается механическим способом: применением кулачковой передачи, обеспечивающей кинематику перемещением хотя бы одного из компонентов системы по сложному («нелинейному») закону.

В объективах не очень большого относительного отверстия (1 : 2—1 : 1.7), с кратностью изменения фокусного расстояния порядка 4—5 может быть осуществлена оптическая компенсация дефокусировки изображения, т. е. при простой линейной кинематике перемещения компонентов объектива; неизбежная при этом «остаточная» дефокусировка изображения при всех значениях фокусных расстояний объектива не превышает допустимой величины. Примером такой системы может служить разработанный объектив «Метеор-5» для 16-мм кинокамер, имеющий переменное фокусное расстояние от 17 до 68 мм при отверстии 1 : 1.9 и сохраняющий хорошие оптические качества во всем указанном диапазоне.

Большая работа выполнялась в 1965—1967 гг. по созданию объективов для отечественных телевизионных центров, в частности для общесоюзного телецентра в Останкино (ОТЦ). Создан комплект из 13 типов объективов — от короткофокусного широкоугольного («Мир-10-Т», $f' = 27$ мм, 1 : 3.5) до длиннофокусного («Таир-52-Т», $f' = 1000$ мм, 1 : 8), — предусматривающих возможность ведения как студийных, так и внестудийных телевизионных передач. Объективы разработаны на основе наших оригинальных разработок объективов «Мир», «Эра» и «Таир». Для внестудийных передач (рис. 6), изменяющимся от 80 до 800 мм в двух переключающихся диапазонах: от 80 до 400 мм при отверстии 1 : 4 и от 160 до 800 мм при 1 : 8.

Как для студийных, так и внестудийных передач разработан объектив «Вариогор-1-Т» с фокусным расстоянием непрерывно изменяющимся от 40 до 400 мм при отверстии 1 : 4. Объектив содержит оптические преломляющие поверхности лишь сферической формы в отличие от известного английского объектива «Варотал-V», имеющего аналогичные оптические характеристики, в котором применена асферическая поверхность сложной формы, уравнение которой содержит члены высших порядков.

Работы этого направления также являются перспективными и будут продолжены.

При разработке телевизионных объективов для оценки их оптических качеств была применена методика частотно-контрастных характеристик. Соответственно принятому в СССР стандарту 625 телевизионных строк контраст оптического изображения определялся для всего поля изображения в пределах частот до 13 мм⁻¹. Все разработанные объективы в центральной части поля в интервале названных частот обладают высокими коэффициентами передачи контраста — порядка 0.8—0.85, а по полю

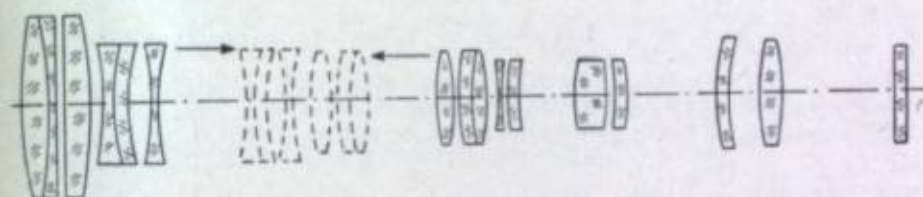


Рис. 6. Оптическая схема объектива «Алькор».

плавно снижаются до значений 0.45—0.55 у широкоугольных объективов и до 0.6—0.7 — у длиннофокусных систем.

Вследствие ограниченности объема статьи мы совершенно не остановились на объективах более «узкого» применения — на разработанных нами линзовых и зеркально-линзовых анастигматах для ультрафиолетовой области спектра, на разработанных М. М. Русиновым широкоугольных объективах для подводной съемки, на созданных нами особовысоко разрешающих анастигматах для микрофильмирования и микроэлектроники, разрешение которых приближается к пределу, определяемому волновой природой света.

Всем перечисленным разработкам сопутствовали теоретико-методические исследования, проводившиеся в последние годы у нас в двух направлениях.

Во-первых, теоретико-расчетные методы оценки качества изображения оптических систем на основе применения электронных вычислительных машин (ЭВМ); здесь прежде всего выполнялись расчеты коэффициентов передачи контраста для рабочего интервала пространственных частот.

Во-вторых, создание и практическое применение автоматизированных методов коррекции сложных оптических систем на основе применения ЭВМ. Работы этого направления, как известно, приводятся повсеместно и во многих странах. Наши разработки метода велись применительно к сложным (многопараметровым) светосильным широкоугольным системам, в которых проводится одновременная коррекция как монохроматических, так и хроматических aberrаций лучей широких меридиональных и сагиттальных пучков для нескольких наклонов — задача коррекции aberrаций решается путем определения области оптимального решения aberrаций одновременно для большого множества лучей. Разработанный метод автоматической коррекции предусматривает возможность его применения не только к сложным оптическим системам, содержащим асферические

поверхности, но и к системам с переменными оптическими характеристиками, в частности к объективам с переменным фокусным расстоянием.

В заключение укажем, что создание современного высококачественного объектива с повышенными оптическими характеристиками требует выполнения не только расчетных, но и экспериментальных исследований. Последние особенно полно и всесторонне проводятся в тех случаях, когда оптические качества объектива, создаваемого по новой оптической схеме, весьма трудно предвидеть с достаточной полнотой расчетным путем.

Описанная выше работа охватывает многие десятилетия пройденного пути и создает все предпосылки для дальнейшего успешного развития отечественного объективостроения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. И. Тудоровский. Теория оптических приборов. Изд. АН СССР, М.—Л., т. I, 1948; т. II, 1952.
- [2] Г. Г. Слюсарев. Геометрическая оптика. Изд. АН СССР, М.—Л., 1946.
- [3] Г. Г. Слюсарев. Методы расчета оптических систем. ОНТИ, М., 1937.
- [4] Д. С. Волосов. Методы расчета сложных фотографических систем. Гостехиздат, М., 1948.
- [5] Д. С. Волосов, М. В. Цивкин. Теория и расчет светооптических систем. Изд. «Искусство», М., 1960.
- [6] Д. Д. Максудов. Астрономическая оптика. ОГИЗ, М., 1946.
- [7] М. М. Русинов. Техническая оптика. Машгиз, М., 1961.
- [8] М. М. Русинов. Фотограмметрическая оптика. Геодезиздат, М., 1962.
- [9] И. А. Турыгин. Прикладная оптика. Изд. «Машиностроение», М., ч. I, 1965; ч. II, 1966.
- [10] В. Н. Чуриловский. Теория оптических приборов. Изд. «Машиностроение», М., 1966.
- [11] Д. С. Волосов, Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1958, 1, 81.

Ю. Н. ДЕНИСЮК, В. И. СУХАНОВ

ГОЛОГРАФИЯ В ДВУМЕРНЫХ И ТРЕХМЕРНЫХ СРЕДАХ

Как известно, всякий оптический прибор, в том числе и глаз человека, выносит свои суждения об объекте, базируясь исключительно на результатах анализа волнового поля рассеянного им излучения. Если это поле восстановить со всеми его подробностями, то ни один оптический прибор не отличит, находится ли перед ним настоящий объект или приспособление, имитирующее рассеянное объектом излучение. Наблюдатель зарегистрирует при этом абсолютно правдоподобное пространственное изображение объекта.

Впервые фотографический метод регистрации и восстановления волновых полей был предложен Габором в 1948 г. [1] (рис. 1). На объект O (рис. 1, а) падает излучение от источника S . За объектом располагается фотопластинка F , регистрирующая результат сложения излучения, рассеянного объектом, и излучения, которое попадает на фотопластинку, минуя объект. Предположим, что фотопластинка зафиксировала поле стоячих волн так, что ее коэффициент пропускания в каждой точке пропорционален интенсивности светового поля. Направим на полученную таким образом голограмму излучение монохроматического источника S (рис. 1, б). Поскольку коэффициент пропускания голограммы пропорционален интенсивности стоячей волны, то голограмма промодулирует волну от источника S так, что амплитуда ее в плоскости, непосредственно прилегающей к фотопластинке, будет совпадать с амплитудой стоячей волны. Если бы при этом совпадали и фазы, то в соответствии с принципом Гюйгенса во всем пространстве за голограммой восстановилась бы первоначальная стоячая волна. Наблюдатель зарегистрировал бы при этом обе компоненты, слагающие такую волну, и увидел бы референтный источник и объект O' . Однако фаза на поверхности такой голограммы совпадает не с фазой первоначальной волны, а с фазой излучения источника S . Этим обусловлено появление второго, действительного изображения объекта O'' , расположенного симметрично мнимому по другую сторону пластинки F' . В данном случае действительное изображение можно рассматривать как ошибку процесса.

Полученные по методу Габора изображения объектов были сильно искажены из-за взаимного наложения двух изображений. Кроме того, с помощью этого метода можно было регистрировать только сугубо спещиальные объекты, такие как, например, диапозитивы печатных текстов. В 1963—1964 гг. Лейт и Упатникс [2], несколько изменив схему Габора, сумели разделить возникающие при реконструкции действительное и мнимое изображения объектов (рис. 2). Они предложили располагать фотопластинку cd сбоку от объекта. Возникающие при реконструкции изображения O' и O'' расположены по-прежнему симметрично

относительно фотоэластики. Однако, как видно из рисунка, лучи, распространяющиеся от мнимого изображения O' , и лучи, сходящиеся к действительному изображению O'' , пространственно разделены. Естественно, что помехи, вызванные наложением изображений, при этом исчезают.

В 1962 г. в ГОИ был разработан метод регистрации голограмм в трехмерной среде — так называемая волновая фотография [3]. Голограммы, полученные по этому методу, настолько полно воспроизводят свойства объекта, что их можно рассматривать как своеобразный оптический эквивалент объекта. На рис. 3 представлена схема получения таких голограмм. В этом случае фотоэластика V устанавливается перед объектом со стороны источника.

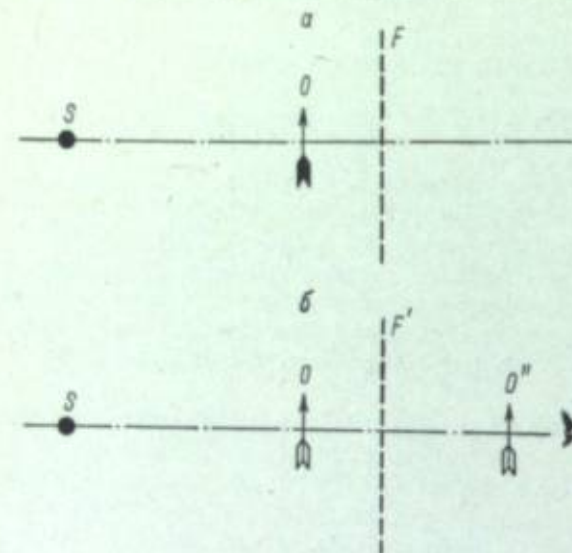


Рис. 1. Схема получения (а) и восстановления (б) голограмм по методу Габора.

Поверхность пучностей данной стоячей волны есть геометрическое место точек, в которых фаза излучения источника совпадает с фазой излучения, рассеянного объектом. Очевидно, что если на зарегистрированную голограмму поверхность пучностей направить излучение источника, то фаза отраженной волны совпадает с фазой излучения, рассеянного объектом. Амплитуда в этом случае также восстанавливается, поскольку, как можно показать, коэффициент отражения рассматриваемого слоя пропорционален амплитуде излучения, рассеянного объектом. Каждую зарегистрированную трехмерную голограмму поверхность стоячей волны можно представить как зеркало сложной формы, которое преобразует сферическую волну от источника в волну, полностью идентичную волне излучения, рассеянного объектом.

Таким образом, трехмерные голограммы, допуская реконструкцию белым светом, воспроизводят при этом все наиболее существенные характеристики волнового поля: амплитуду, фазу и спектральный состав. Ложное изображение при этом отсутствует.

Три перечисленных типа голограмм являются основными, все остальные разновидности представляют собой их частные случаи.

Регистрация голограмм осуществляется на фотоматериалах с очень высокой разрешающей способностью, поскольку пространственный период интерференционной картины очень мал. За рубежом для этой цели используются фотоэластики фирм «Кодак» и «Агфа-Геверт». Все от-

ественные исследования проводятся на фотоэластиках «Микрат-ВР», разработанных И. Р. Протас.

Для оценки разрешающей способности таких слоев были разработаны специальные голографические резольвометры [4]. Остановимся на не-

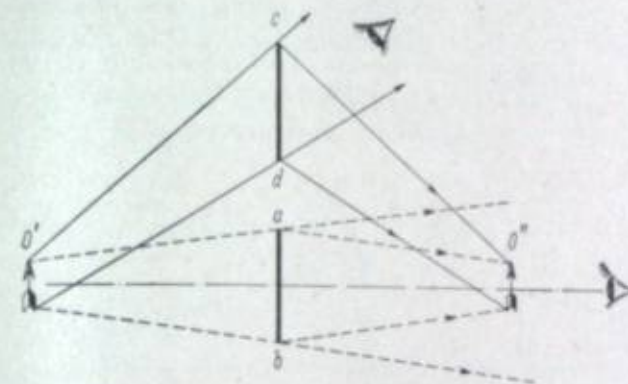


Рис. 2. Схема регистрации голограмм по Лейту и Упатнику.

которых свойствах голограмм и рассмотрим в этой связи некоторые области возможного практического применения этого метода.

Уникальным свойством голограммного метода является возможность создания неискаженного изображения объекта. В отличие от обычных систем стереоскопического видения голограмма позволяет наблюдать объемное изображение при произвольном положении глаз наблюдателя. Изображение видно через поверхность голограммы, как через окно. Смещая глаз в пределах этого окна, можно, так же как и при наблюдении естественных объектов, увидеть части предметов, которые были заслонены ранее близлежащими деталями.

Не меньший зрительный эффект оказывает широкий динамический диапазон яркости голографического изображения. В обычной фотографии яркий блик не может быть достаточно хорошо воспроизведен из-за ограниченного динамического диапазона фотографического материала. Голограмма, регистрирующая излучение вне особых точек поля, т. е. вне изображения, решает задачу воспроизведения бликов совершенно иначе, излучение блика регистрируется всей поверхностью голограммы и поэтому не выводит фотоэластику из ее динамического диапазона. При воспроизведении вся поверхность голограммы фокусирует излучение в малый блик. Естественно, что таким образом можно получить высокую яркость при использовании весьма слабого источника света.

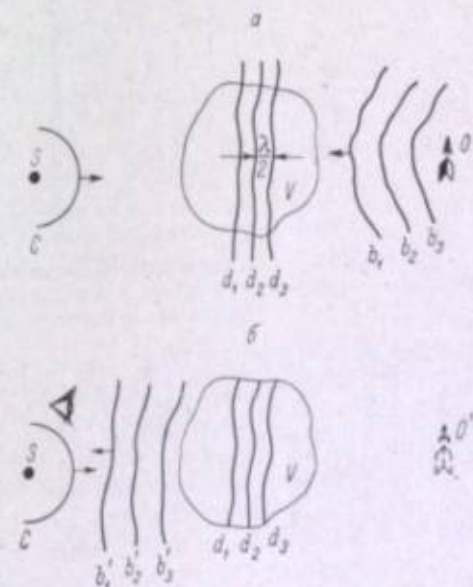


Рис. 3. Схема получения (а) и восстановления (б) трехмерных голограмм по Денисову.

Перечисленные свойства голограммы — пространственность и широкий динамический диапазон несомненно будут реализованы в будущих системах кино и телевидения. Следует отметить, однако, что на пути создания такой техники стоят очень большие трудности. Суть последних в том, что голограмма регистрирует значительно больше информации, чем это необходимо для визуального наблюдения объекта.

Рассмотрим некоторые возможные методы исключения избыточной информации голограммы.

Один из наиболее интересных методов заключается в следующем: перед объектом O устанавливается матовый экран \mathcal{E} (рис. 4). Излучение

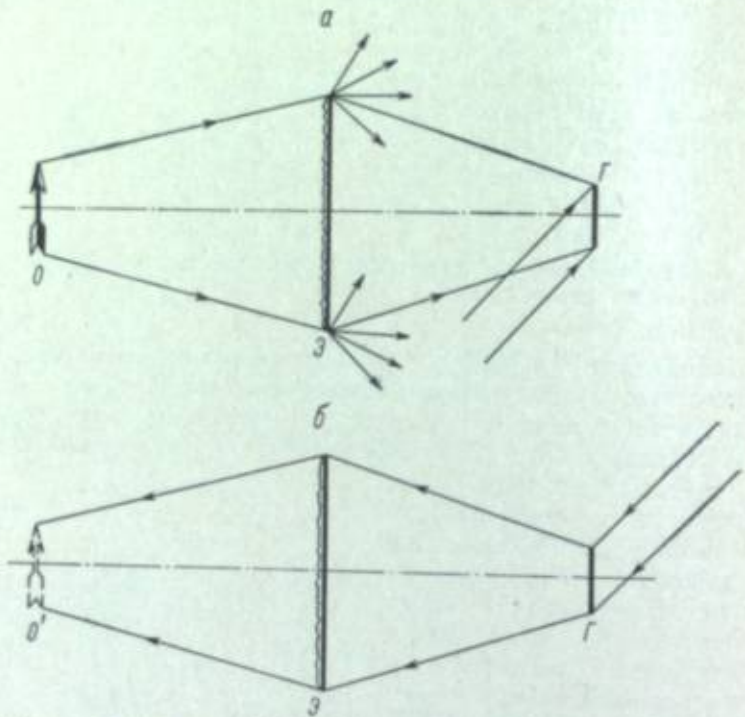


Рис. 4. Метод исключения избыточной информации, содержащейся в голограмме, с помощью матового экрана. Схемы получения (а) и восстановления (б) голограмм.

от объекта, проходя через этот экран, рассеивается на нем, и только часть этого излучения регистрируется на маленькой голограмме G , установленной за экраном [5]. В результате такого преобразования объем информации об объекте существенно уменьшается.

При реконструкции обращается ход лучей через систему. Излучение, восстановленное голограммой, проходит через экран в обратном направлении и собирается в изображение объекта O' .

Разрешающая способность такого изображения существенно понижена за счет того, что голограмма регистрирует не все излучение, рассеянное матовым экраном. Однако визуально это изображение не отличается от изображения, которое создавала бы голограмма, размеры которой равны размерам матового экрана.

Появились также сообщения о снижении информативной емкости голограммы за счет исключения вертикального параллакса, который не участвует в создании стереоскопического эффекта при визуальном наблюдении [6]. В этом случае из голограммы вырезается узкая горизонтальная полоса и многократно репродуцируется со сдвигом в вертикальном направлении.

Очевидным недостатком рассмотренных методов является то, что они не позволяют регистрировать объект при естественном освещении.

В настоящее время предпринимаются попытки решить проблему регистрации объемных изображений при естественном освещении за счет объединения голографии с методом интегральной фотографии Липмана [7]. Сущность одного из таких предложений сводится к следующему (рис. 5). С помощью обычного фотоаппарата регистрируется ряд изображений объекта O , сфотографированных при малой диафрагме с различных точек зрения, например при положениях объектива L_1, L_2, L_3, L_4 . Далее,

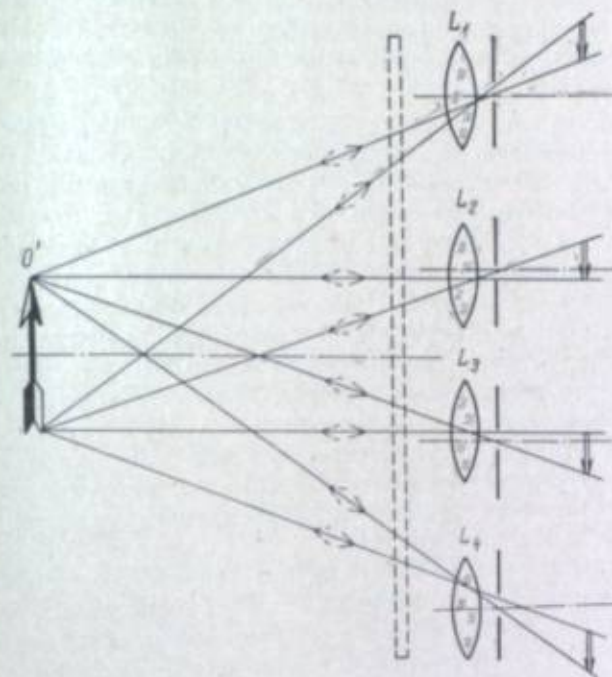


Рис. 5. Схемы получения стереоскопического изображения с использованием метода интегральной фотографии Липмана и голограммы.

эта фотоэмульсия проявляется с обращением, устанавливается в фотоаппарат и просвечивается с помощью излучения монохроматического источника. Непосредственно перед объективом устанавливается фотоэмульсия, на которой регистрируются голограммы этих изображений. В результате получают такую голограмму, каждый малый участок которой создает изображение объекта так, как он был виден при наблюдении с этого участка. В сумме все эти участки создают пространственное изображение объекта O' .

Приведенные выше схемы являются лишь первыми попытками построения голограммных систем кино и телевидения. Однако для полного решения этой проблемы потребуется, по-видимому, еще весьма значительное время.

В настоящее же время более реальным представляется использование голографии для получения объемных портретов и копий произведения искусства. Однако с помощью газовых лазеров непрерывного действия регистрировать портреты практически невозможно, так как в этом случае требуется, чтобы за время экспозиции, которая длится десятки минут, смещения объекта не превышали долей длины волны. Решить эту проблему

можно только на основе использования импульсных твердотельных оптических квантовых генераторов.

Возможности импульсного лазера позволили Д. И. Стаселько, А. И. Смирнову, Ю. Н. Денисюку впервые получить голограмму диффузного живого объекта — белой мыши [8]. За время импульса — 30 нсек. — ни один волосок мыши не сместился больше чем на половину длины волны.

Голограммные портреты, по-видимому, целесообразно регистрировать по методу волновой фотографии, так как в этом случае реконструкцию можно осуществлять обычной лампой накаливания. В процессе проведения исследований в этом направлении нами были получены голограммы металлических барельефов. Изображения, восстановленные такими голограммами, можно было наблюдать даже при рассеянном естественном освещении [9].

Несмотря на то что широкую популярность голограммному методу создали его необычные изобразительные свойства, основной сферой ближайших практических приложений этого метода является применение в научных исследованиях и приборостроении. Одним из таких приложений является повышение плотности записи информации на фотопластинке. Эта возможность основана на том, что голограмма в отличие от обычной фотографии допускает регистрацию нескольких изображений на одной и той же фотопластинке с их последующим отдельным воспроизведением. Для этого достаточно при съемке каждый раз изменять угол между объектным и референтным лучами. Таким способом на одной голограмме можно впечатывать до 40 изображений [10].

Другой особенностью голограммы является возможность изменять масштаб и пространственное расположение реконструированного изображения при изменении длины волны реконструирующего источника, а также масштаба голограммы [11].

На использовании этих, так называемых трансформационных свойств голограммы основана идея получения сверхувеличений. Увеличение изображения при этом определяется отношением длин волн излучений, использованных при регистрации и реконструкции голограммы. Изменяя размер голограммы и длину волны излучения, используемого при реконструкции, можно получить оптические изображения объектов, облученных при регистрации радиоволнами и звуковыми волнами. В США на таком принципе построен локатор, позволяющий получить сквозь облака изображение местности с весьма приличным разрешением [12].

Способность голограммы воспроизводить волновой фронт излучения, рассеянного объектом, используется в голографической интерферометрии. В этом случае получают две голограммы объекта на одной и той же пластинке. Если за время, прошедшее между экспозициями, объект деформировался, то два восстановленных волновых фронта будут интерферировать друг с другом. Возникнут интерференционные полосы, по виду которых можно судить о величине и характере деформации [13—15].

Эта методика, предложенная Хорманом и некоторыми другими авторами, получила дальнейшее развитие в работах Е. Б. Александрова, который получил интерферограммы деформаций диффузно рассеивающих тел и разработал оригинальный вариант теории, позволяющей интерпретировать получающуюся при этом картину интерференционных полос [16].

В последнее время с помощью метода голограммной интерферометрии был исследован характер вибраций поверхности ультразвуковых излучателей. При регистрации таких интерферограмм возникают определенные трудности, связанные с тем, что объект исследования находится в движении. Для исключения этих эффектов А. Н. Зайдемом и другими был предложен оригинальный стробо-голографический метод, при котором

объект и голограмма освещаются прерывистым излучением, частота следования импульсов которого синхронизована с колебаниями объекта [17]. Метод имеет также и то преимущество, что позволяет регистрировать деформации объекта в любой фазе колебания. Возможности использования голографии в интерферометрии не ограничиваются исследованием деформации диффузно рассеивающих тел. Этот метод может быть с успехом применен и для анализа газовых неоднородностей.

Сущность такого рода приложений голографии заключается в следующем: с помощью импульсного лазера регистрируется голограмма волнового фронта, искаженного газовой неоднородностью. Затем с полученной голограммой можно обращаться, как с самим объектом — исследовать ее в лабораторных условиях самыми различными методами: интерференционным, теневым, меняя при этом по желанию установку ножа и период интерференционной картины.

Необходимость замены объекта его голограммой вызвана в данном случае тем, что газовые неоднородности существуют весьма ограниченное время, что полностью исключает возможность какой-либо перестройки регистрирующего прибора в процессе эксперимента.

Большая работа в этом направлении была проведена К. С. Мустафимым [18] и А. Ф. Белозеровым. Этот метод был также успешно использован Ю. И. Островским и другими для регистрации и исследования неоднородностей плазмы [19]. При этом была применена оригинальная схема с линией оптической задержки, позволяющая исследовать развитие процесса во времени.

Несомненно, что такая схема может быть использована и в других устройствах высокоскоростной голографии.

Классической областью использования голографии является регистрация ансамблей мелких частиц. В этом случае голограмма в отличие от других методов дает возможность зарегистрировать распределение всех частиц по объему в какой-то момент времени. Большую работу по регистрации частиц в пузырьковых камерах провел Б. Г. Туруханов с сотр. [20]. В результате его исследований было показано, что использование голограммного метода позволяет в тысячу раз увеличить загрузку пузырьковых камер треками частиц.

Иногда, однако, частицы движутся с такой большой скоростью, что даже использование импульсного лазера не дает возможности получить голограмму с достаточно высоким разрешением. Оказалось, что для компенсации этих перемещений необходимо вращать луч лазера так, чтобы теневая проекция частиц на фотопластинку оставалась неподвижной [21].

Одним из возможных приложений является также использование голограммного метода в металлообработке для контроля профиля деталей сложной формы.

Для этой цели нами был выбран следующий метод: создается голограмма-эталон, которая фокусирует специальную систему марок на поверхность нулевого допуска детали.

При отклонении размеров детали от номинала изображения марок размываются, что и служит индикатором для отбраковки детали. На основе такого метода предполагается создать прибор для цехового контроля лопаток паровых турбин. Возможно, что в дальнейшем с помощью таких приборов можно будет контролировать детали непосредственно в процессе их изготовления.

Все перечисленные применения голографии касались лабораторной исследовательской аппаратуры, предназначенной для регистрации предельных, которые находятся вблизи фотопластинки и источника излучения.

Голографирование удаленных предметов до сего времени было связано с большими трудностями. Дело в том, что интерференционная картина в плоскости голограммы возникает только в том случае, когда референтный и объектный лучи полностью когерентны, т. е. образованы из одного луча. Практически это означает, что если объект располагается на расстоянии даже нескольких сотен метров, то для получения голограммы в референтный луч необходимо ввести линию задержки такой же протяженности, что совершенно нереально.

В работе [22] было показано, что голограмму можно получить, используя два последовательных импульса лазера, первый из которых направляется на объект, а второй, сдвинутый во времени на величину, необходимую для прохождения света до объекта и обратно, используется в качестве референтного луча.

Оказалось, что при сложениях таких, вообще говоря, некогерентных колебаний интерференционная картина не исчезает — она только начинает двигаться. Существенной особенностью этого движения является то, что каждая волна интенсивности, перемещаясь по поверхности фотоэластики, повторяет все фазы развития предыдущих волн. Используя это обстоятельство, было предложено останавливать эту картину в процессе регистрации, модулируя ее по интенсивности колебанием, зарегистрированным в одной из точек волнового поля — нечто вроде стробирования. Можно показать, что фотография такой интерференционной картины обладает всеми свойствами обычной голограммы.

В заключение хочется отметить, что голограммный метод — второй известный нам метод фотографической регистрации объекта. В данное время он еще весьма далек от совершенства. Однако и классическая фотография также начинала с того, что клиенту мазали лицо мелом и заставляли сидеть неподвижно десятки минут. Сейчас же этот метод проник буквально во все области нашей жизни и деятельности.

Есть все основания предполагать, что и голограммный метод со временем также получит широкое распространение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] D. Gabor, Proc. Roy. Soc. (London), 1949, A197, 454.
- [2] E. N. Leith, J. Upatnieks, JOSA, 1964, 54, 1295.
- [3] Ю. Н. Денисюк, ДАН СССР, 1962, 144, 1295.
- [4] Ю. Н. Островский, Авт. свид. СССР 207018.
- [5] K. A. Haines, D. V. Brum, Proc. IEEE, 1967, 55, 8, 1512.
- [6] D. J. De Bitetto, Appl. Phys. Letters, 1968, 12, 5, 176.
- [7] J. T. McCrickerd, G. Nickolas, Appl. Phys. Letters, 1968, 12, 1.
- [8] Д. И. Стаселько, А. Г. Смирнов, Ю. Н. Денисюк. Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1968, 13, 135.
- [9] Ю. Н. Денисюк, В. И. Суханов, Опт. и спектр., 1967, 25, 2, 199.
- [10] M. Marchant, D. Knight, Optica Acta, 1967, 14, 2, 199.
- [11] A. W. Meier, JOSA, 1965, 55, 8, 987.
- [12] L. J. Cutrona, E. N. Leith, L. J. Porcello, W. E. Vivian, Proc. IEEE, 1966, 54, 8, 1026.
- [13] K. A. Haines, B. P. Hildebrand, Appl. Optics, 1966, 5, 4, 595.
- [14] E. Archbold, A. E. Elmos, Nature (Engl.), 1968, 217, 5132, 942.
- [15] M. M. Chag, M. N. Nogman, H. Melvin, Appl. Optics, 1966, 5, 7, 1237.
- [16] Е. Б. Александров, А. М. Бонч-Бруевич, ЖТФ, 1967, 37, 2, 360.
- [17] А. Н. Зайдель, Л. Г. Малхасян, Г. В. Маркова, Ю. Н. Островский, ЖТФ, 1968, 38, 10, 1824.
- [18] К. С. Мустафин, В. А. Селезнев, В. Н. Штырков, Опт. и спектр., 1967, 22, 2, 319.
- [19] Г. В. Островская, Ю. Н. Островский, ЖЭТФ, 1966, 51, № 4, 1966, 169, 5.
- [20] А. П. Комар, М. В. Стабников, В. Г. Турухано, ДАН СССР, 1966, 169, 5.
- [21] Ю. Н. Денисюк, Д. И. Стаселько, В. П. Минина, Опт.-мех. пром., 1968, 1, 73.
- [22] Ю. Н. Денисюк, Д. И. Стаселько, ДАН СССР, 1967, 176, 6, 1274.

В. Г. КОМАР

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КИНОТЕХНИКИ

Введение

Развитие кинематографа — современного массового искусства, важной хозяйственной отрасли, эффективного средства обучения и информации, отдыха и развлечения, а также перспективного метода научного исследования и технического контроля основано на прогрессе кинотехники, представляющей собой область прикладной науки и техники.

Кинотехника является сложной областью, так как ее возникновение как единого технического комплекса явилось результатом синтеза отдельных разделов ранее сложившихся областей: фотографической техники, точной механики и оптики, свето-, электро- и радиотехники и электронной техники.

Сущностью кинематографического процесса, его отличительной особенностью являются фиксирование и воспроизведение изображений движущихся предметов и развивающихся во времени явлений. Изучение этих процессов и их закономерностей составляет содержание прикладной кинематографической науки.

Кинотехника и киноискусство органически связаны между собой, их диалектическое единство обуславливает взаимное развитие этих двух сторон единого комплекса.

Отличительная особенность кинематографического процесса при этом обусловлена тем, что передаваемая в нем информация должна удовлетворять требованиям не только смыслового, но и эмоционального восприятия. Эти важнейшие требования обуславливают главную закономерность развития кинематографа и кинотехники — неуклонное приближение условий восприятия в кинематографе к естественным условиям восприятия в жизни [1—3].

Исторический путь развития кинематографа — от немого к звуковому, от черно-белого к цветному, широкоэкранному и стереофоническому, от непрерывного стремления к повышению качества изображения и звука — все это соответствует главной закономерности его развития, которой кинематограф будет следовать и в дальнейшем.

Информация, передаваемая в кинематографическом процессе, представляет собой совокупность признаков движущихся предметов или составов бытия, т. е. физических величин, определяющих формирование у зрителей образов реальных предметов. Если кинематографический процесс используется как средство научного исследования или технического контроля, то указанные физические величины служат для оценки исследуемых или контролируемых явлений.

Основным средством фиксации изображения в кинематографе на современном этапе является фотографический метод, и исторически кинематограф развивался как прикладной раздел фотографии. Однако важнейшие разделы научной и прикладной фотографии сами явились разделами кинематографической науки, имеющей предметом своих исследований кинофото процессы.

Принципиальное отличие кинематографического процесса от фотографического — регистрация явлений не только в пространстве, но и во времени. Это обуславливает самостоятельное значение кинематографической науки, развитие кинематографа по присущим ему законам.

Фотографический метод является не единственным методом, используемым для фиксации изображений движущихся предметов. В современном кинематографическом процессе используются магнитные методы записи; перспективные и другие способы.

Все в большей мере в кинематограф проникают телевизионные методы передачи изображений. Происходит сближение кинематографа и телевидения.

Однако принципиальное различие между телевидением и кинематографом, заключающееся в том, что отличительной особенностью первого является передача изображения на большие расстояния, а второго — фиксация и воспроизведение движущихся изображений, обуславливает и в перспективе самостоятельное научное значение кинотехники с присущими ей своими закономерностями развития.

Кинотехника как самостоятельная область прикладной науки и техники начала складываться давно. Только в первые годы немого кинематографа, после изобретения в 1895 г. Л. Люмьером киносъемочного аппарата и кинопроектора и применения предложенной Эдисоном киноплёнки, эти первые технические средства кинематографа — объектив, киноаппарат, киноплёнка, источник света — можно было считать инженерными приложениями, привнесёнными извне. Первые успешные попытки систематически изложить вопросы кинотехники как единой самостоятельной области прикладной науки были сделаны Е. М. Голдовским [4—6]. Подобные работы позднее проводились за рубежом другими авторами [7].

В наиболее развитых областях кинематографа как искусства, средства обучения, информации, отдыха и развлечения кинематографический процесс представляет собой органически связанные процессы фиксации изображения и звука и их воспроизведения. При этом единство кинематографического процесса обусловлено не только условиями одновременного воспроизведения определенных зрительных и слуховых признаков предметов, но и многими общими фундаментальными закономерностями передачи и восприятия световой и звуковой информации во времени.

Главными задачами кинематографической науки являются, во-первых, изучение кинематографического процесса, поиски способов передачи новых признаков предметов, что служит научной основой для создания новых систем кинематографа, обладающих большими художественно-выразительными возможностями или же позволяющих более эффективно исследовать какие-либо явления; во-вторых, изыскание путей устранения искажений в передаче отдельных признаков предметов, снижение неестественных сочетаний этих признаков, что служит научной основой для улучшения качества изображения и звука в кинематографе, а также повышения точности кинематографических методов исследования; в-третьих, изыскание путей получения заданной передачи информации с выделением тех признаков предметов, которые должны усиливать восприятие (делать его более четким, точным), и с ослаблением или устранением других признаков, мешающих восприятию, отвлекающих зрителя от главного в фильме или затрудняющих выполнение исследования.

Решение указанных задач позволит усилить эмоциональное воздействие в художественном кинематографе, повысить эффективность процесса обучения в учебном кино, увеличить объем информации, воспринимаемой в течение заданного времени в информационном и пропагандистском кинематографе, повысить точность исследований при использовании кинематографа для научных целей.

Трудности решения задач, стоящих перед кинематографической наукой, обусловлены большой сложностью кинематографического процесса, состоящего из ряда последовательных звеньев, обладающих нелинейными характеристиками передачи признаков предметов. Эти характеристики оказываются различными для разных групп признаков и сильно отличающимися в себя оптические, химико-фотографические, механические, акустические и психофизиологические процессы и явления.

На основе изучения кинематографического процесса как единого процесса фиксации и воспроизведения изображения в виде движущихся предметов и явлений должна решаться важнейшая научно-техническая задача оптимизации всего процесса.

Решение этой задачи требует создания таких методов исследования и оценки кинематографического процесса, которые позволяют выразить передачу каждой группы признаков предметов с помощью характеристик одного и того же рода для всех последовательных звеньев процесса, начиная от киносъёмки и кончая восприятием изображения зрителями.

Повышение фотографического качества изображения

Важнейшей научной проблемой кинотехники является улучшение кинематографического процесса, направленное на повышение фотографического качества изображения в отношении резкости, яркости, контраста и цвета, снижения зернистости и различного рода помех.

Широко применяемые методы оценки отдельных элементов кинематографического процесса (киноплёнок, объективов, киноаппаратов, экранов) в отношении перечисленных выше показателей качества изображения часто дают величины, не сопоставимые в последовательном ряду звеньев процесса, нередко заставляют прибегать к эмпирическим способам, что обуславливает трудности в ускорении решения данной проблемы.

В этом смысле наиболее перспективным для исследования резкости изображения является метод частотно-контрастных характеристик, в одинаковой мере применимый для оценки как кинематографического процесса в целом, так и всех его звеньев, включая восприятие изображения, оцениваемое частотно-контрастной характеристикой зрительного анализатора [8, 9].

Для оценки зернистости изображения в сквозном кинематографическом процессе наиболее перспективным является метод, основанный на спектральных характеристиках гранулярности, также применимый для отдельных звеньев процесса [10—12].

Для исследования контраста изображения в сквозном кинематографическом процессе применимы яркостные характеристики зависимости яркости на выходе звена от яркости на входе для больших участков изображения. Градационные характеристики киноплёнок относятся по существу к такого рода яркостным характеристикам.

Вопросы метрологии фотографических материалов и процессов, основанные на этого рода характеристиках, хорошо изучены [13, 14], однако необходимо развитие этих методов, изучение градационных характери-

стик сквозного кинематографического процесса с учетом светорассеяния в объективах, киноаппаратуре и на киноэкране. Важное значение при этом имеет исследование градационных характеристик зрительного анализатора [15].

Для оценки передачи цвета в сквозном кинематографическом процессе могут быть использованы матричные характеристики передачи цвета, исследованные для различных цветных фотографических материалов [16]. Исследование этого рода характеристик для всех звеньев и для кинематографического процесса в целом представляет важную задачу.

Применение перечисленных методов не исключает, конечно, использования известных частных методик изучения отдельных звеньев процесса.

Использование указанных методов исследования кинематографического процесса с целью повышения качества фотографического изображения требует установления объективных количественных критериев и значений этих критериев, соответствующих допустимым уровням качества изображения по отдельным показателям: резкости, зернистости, яркости, контраста, цвета.

Поскольку перечисленные показатели качества изображения в кинематографе связаны между собой в том смысле, что изменение ряда параметров кинематографического процесса приводит к улучшению одних показателей и ухудшению других, то при выборе критериев количественной оценки качества изображения возникает необходимость в нахождении кроме частных также и универсальных объективных критериев, обуславливающих оптимальные соотношения между отдельными показателями качества, например резкостью и зернистостью, и др. [17].

Наиболее слабыми звеньями кинематографического процесса в отношении фотографического качества изображения являются киноопенки и процессы их химико-фотографической обработки. Создание новых фотографических материалов с более высокой светочувствительностью, лучшими характеристиками передачи контраста, резкости, цвета, более высокими физико-механическими свойствами является важнейшей проблемой, определяющей научно-технический прогресс кинотехники.

Существенный вклад был внесен в решение данной проблемы специалистами НИКФИ, его филиалов (теперь Госнихимфотопроекта), химзаводами в городах Шостке и Казани, ЛИКИ, киностудиями «Мосфильм», «Ленфильм», им. Довженко, Лабораторией обработки цветных фильмов (ЛОЦФ), Ленкопирфабрикой, Москопирфабрикой и др. (А. Н. Иорданский, В. С. Чельцов, И. М. Килвинский, Н. В. Макаров, В. Л. Зеликман, Л. П. Крыдов, Н. И. Кириллов, С. М. Антонов, С. А. Бонгард, Б. Б. Беркенгейм, В. П. Забелло, Г. П. Фаерман, И. Б. Блюмберг, А. И. Калинин, В. М. Бондарчук и др. [18, 19]).

Однако серьезное отставание, имеющееся в данной области, требует решения целого комплекса научных проблем, многие из которых изложены в настоящем сборнике.

Практические неотложные нужды кинематографа таковы, что они требуют первоочередного решения научных проблем, обеспечивающих создание полного ассортимента цветных киноплёнок с однородными фотографическими свойствами (по светочувствительности, плотности, цвету), с малым числом дефектов, с малой хрупкостью, усадкой и скручиваемостью; создание киноплёнки для цветного контрастирования с необходимой фотографической широтой, резкостью, уменьшенной зернистостью; создание цветной позитивной киноплёнки с необходимой резкостью изображения и цветной негативной плёнки с увеличенной фотографической широтой и уменьшенной зернистостью.

Для кинематографии представляют перспективный интерес процессы фиксации изображения на плёнке, основанные не на возникновении в светочувствительных слоях светопоглощающих частиц, а на образовании подобный процесс («Кальвар») нашел еще ограниченное применение в кинематографии. Совершенствование его в направлении получения более значительного диапазона оптических плотностей позволило бы использовать этот процесс более широко.

Для определенных областей применения кинематографии интересными являются также методы фиксации изображения на плёнке, основанные на возникновении на поверхности светочувствительного слоя рельефа, рассеивающего свет, проходящий через плёнку. К такого рода процессам относится, как известно, термопластический метод, исследование которого может привести к результатам, открывающим возможности более широкого практического использования этого метода.

Большое значение для кинематографии имеют научные проблемы фотографической метрологии, позволяющие создать методы и приборы производственного контроля фотографических материалов и процессов их химико-фотографической обработки. Существенные научно-исследовательские работы в этом направлении проведены в НИКФИ и ЛИКИ Ю. Н. Гороховским, Г. С. Барановым и др. [13, 14].

Фотографическое качество изображения в сильной мере зависит от свойств объективов, влияющих на резкость изображения, контраст и в некоторой степени на цвет. Эти показатели качества изображения зависят существенно и от свойств киноаппаратуры: съёмочной, копировальной, проекционной.

Научно-исследовательские работы, направленные на улучшение оптики (снижение аббераций, уменьшение светорассеяния, исправление спектральных характеристик пропускания света) имеют актуальное значение для дальнейшего повышения фотографического качества изображения в кинематографе. Улучшение механизмов киноаппаратуры для съёмки, печати и проекции фильмов, обеспечивающее более точное перемещение и установку плёнок в аппаратуре, также требует выполнения научно-исследовательских работ, являющихся основой новых инженерных решений.

Одной из главных задач научных исследований кинематографического процесса является создание основных технологических режимов съёмки, печати, а также проекции фильмов. Фотографическое качество результирующего изображения в кинематографе определяется не только характеристиками его звеньев, но и режимами передачи изображения каждого звена, взаимным согласованием режимов отдельных звеньев между собой.

Исследования этого рода служат научной основой для совершенствования производственных технологических процессов съёмки фильмов, их печати, а также эксплуатационных режимов проекции кинофильмов, что является важнейшей практической задачей в области кинематографии [20].

Наиболее сложными оказываются задачи повышения фотографического качества изображения в профессиональном кинематографе, поскольку при этом предъявляются особо жесткие требования соответствия изображения реальным объектам. Однако и для других областей применения кинематографа, в том числе и как средства научного исследования, повышение качества изображения в смысле точной передачи отдельных его показателей является важной задачей, требующей для своего решения проведения глубоких научных исследований.

Одной из важных проблем кинотехники является улучшение качества передачи звука кинофильмов в отношении четкости и разборчивости речи, звучания музыки, точного воспроизведения характерных звуков в природе и жизни, тембральной и реверберационной окраски звука, создания звуковых эффектов, а также снижения мешающего шума.

Большие исследовательские работы, направленные на повышение качества звука в кинематографе, были проведены специалистами НИКФИ, ЛИКИ, ЦКБК, киностудий «Мосфильм», «Ленфильм», им. Горького, им. Довженко (А. А. Хрущев, П. Г. Тагер, А. И. Парфентьев, И. М. Болотников, А. Ф. Векленко, В. В. Фурдуев, Б. Г. Белкин, А. Н. Качерович, В. А. Бургов, Б. Н. Коноплев, М. З. Высоцкий, С. В. Марсов, В. В. Раковский, И. О. Июшин, В. В. Муромцев, А. Р. Пригожин, М. Ф. Отточек, А. П. Бабий, Р. М. Кашеринин, М. А. Волокитин, А. С. Матвеев, Г. А. Волошин, И. Ф. Волк, Б. С. Краморов, В. К. Кушнарев и др. [21—25]).

Изыскание принципиально новых усилительных схем с полупроводниковыми приборами, новых принципов построения электроакустических преобразователей, исследования акустики помещений — все это составляет важные направления научно-исследовательских работ. Эти исследования должны послужить основой для создания нового типа микрофонов и громкоговорителей, усилительных устройств, магнитофонов и фильмографов для записи и воспроизведения звука кинофильмов.

Актуальными являются исследования процессов фиксации звука в фотографических, а также в магнитных слоях. Сложный нелинейный характер этих процессов является одной из причин того, что результирующее качество звука в кинематографе сильно зависит от свойств киноплёнок и магнитных лент, а также от режимов записи звука на них. В связи с этим улучшение характеристик фотографических и магнитных материалов, используемых в кинематографе, является весьма важной задачей. Должны также проводиться дальнейшие исследовательские работы по установлению оптимальных режимов записи и фиксации звука на киноплёнках и магнитных лентах.

Большое значение для повышения качества звука имеют работы в области методов и приборов для исследования и контроля технологических процессов записи и воспроизведения звука кинофильмов, для проверки аппаратуры, используемых при производстве фильмов и их демонстрации, а также для проверки акустических характеристик помещений киностудий и кинотеатров.

Одним из важных разделов научно-исследовательских работ, направленных на повышение качества звука, является изучение и применение принципов стереофонической передачи звука в кинематографе.

Дальнейший прогресс в области качества передачи звука требует создания методов исследования, позволяющих оценить этот процесс по всем показателям качества звука как единый многозвеньевой процесс передачи слуховых признаков предметов от возникновения их у источников звука до восприятия зрителями в кинозале.

На такой научной основе должна осуществляться оптимизация процесса передачи звука в кинематографе, установление оптимальных характеристик всех звеньев процесса, включая акустические условия помещений записи звука, его контроля и воспроизведения в кинотеатре. Такие исследования должны послужить основой для установления оптимальных режимов передачи звука, что в свою очередь имеет целью совершенствование технологии записи звука в производстве кинофильмов [20].

Важной научной проблемой кинотехники является улучшение передачи пространства и движения. Сохранение формы контуров предметов, соотношений расстояний между отдельными предметами в поперечных и продольных направлениях, скорости и направления движения объектов являются требованиями, обуславливающими необходимость проведения глубоких научных исследований.

Нарушения правильной передачи пространства в отдельных звеньях кинематографического процесса могут компенсироваться в других последовательных звеньях. По этой причине только исследования процесса в целом могут дать достаточно точные решения [26].

Использование в кинематографе объективов с широким диапазоном экранов изогнутой формы обуславливает существенные нарушения правильной передачи формы и движения предметов в кинематографе. Несовершенство цилиндрической формы оптики приводит к деформациям изображения предметов, особенно заметным в движении. Отсутствие учета параллакса бинокулярного зрения в кинематографе вызывает искажения в передаче глубины пространства.

Исследование кинематографического процесса в указанном направлении должно предусматривать изучение условий восприятия в отношении закономерностей формирования зрительных образов предметов, установление объективных количественных критериев оценки искажений и допустимых значений этих критериев.

Ранее применяемые примитивные способы сопоставления объективных количественных параметров изображений с их визуальной оценкой не могут служить основой для решения сложных проблем передачи изображения в кинематографических процессах.

Проведенные исследования показывают, что одни и те же зрительные признаки, передаваемые в кинематографическом процессе, могут играть совершенно различную роль в формировании зрительного образа. Они могут доминировать, формируя зрительный образ предмета независимо от других признаков, или быть полностью подавляемыми другими признаками (т. е. практически не участвовать в восприятии) или же вместе с другими действующими признаками, различным образом передаваемыми в кинематографическом процессе, формировать зрительные образы, зависящие от абсолютных значений конкурирующих признаков и от смыслового содержания изображения, т. е. обуславливать зрительные образы под влиянием факторов памяти [26, 27].

Исследования в области передачи пространства и движения должны иметь целью определение оптимальных параметров: оптики, экранов, установки кинопроекторов, распределение зрительских мест в кино-театрах, а также послужить основой для улучшения технологических режимов в производстве фильмов и их демонстрации.

Проблема улучшения передачи пространства и движения имеет большое значение для условий применения кинематографа как средства научного исследования, где точность оценки формы и размеров предметов, скорости их передвижения часто играют главную роль. Повышение чувствительности и точности кинематографического метода требует при этом создания систем с большим оптическим увеличением или систем с высокой частотой съемки.

Расширение художественно-выразительных возможностей кинематографа

На протяжении всей истории кинематографа его развитие происходит как непрерывное расширение художественно-выразительных возможно-

стей кино. Возникновение новых систем кинематографа с более широкими выразительными возможностями базировалось на научно-исследовательских работах, выполненных большим кругом советских специалистов.

В 1926—1929 гг. П. Г. Тагером и А. Ф. Шориним были выполнены исследования, на базе которых созданы системы звукового кинематографа, основанные на фотографической записи звука на киноплёнке. В последующие годы в НИКФИ, НИИКС, Киевском институте киноинженеров и на ленинградском заводе «Кинаш» был создан весь комплекс техники, необходимой для звукового кинематографа [21, 28].

Следующим крупным этапом в развитии кинематографа явилось создание цветного кино. В течение 1938—1945 гг. в НИКФИ (В. С. Чельцов, А. Н. Иорданский, Г. И. Арбузов, К. Л. Мертц) проводились исследования процессов получения трехцветных изображений на многослойной плёнке. Это послужило основой быстрого освоения советской промышленностью в 1945—1947 гг. производства цветных многослойных плёнок, их химико-фотографической обработки [18, 19].

В развитии цветного кинематографа большое значение имели научные работы в области теории передачи цвета, выполненные Н. Д. Ньюбергом, Л. Ф. Артюшиным и Н. С. Овечкисом [29—31].

На основе работ С. П. Иванова с 1935—1940 гг. началось создание стереоскопического кинематографа по растровому (безочковому) методу [32]. С 1939 г. начинают применяться системы стереоскопического кинематографа, основанные на поляроидном (очковом) методе.

В последнее время сделан новый шаг в области стереоскопического кинематографа: НИКФИ, киностудией «Мосфильм» и МКБК создана новая система стереоскопического кинематографа, основанная на применении 70-мм киноплёнки, получившая практическое применение (сняты два художественных фильма).

В создании теоретических основ стереоскопического кинематографа, базирующегося на передаче зрительных признаков предметов, обусловленных бинокулярным параллаксом, следует отметить работы А. Г. Болтянского, Н. А. Валюса, С. П. Иванова, Б. Т. Иванова, С. М. Проворнова, М. В. Цивкина, Л. В. Акимакиной [32].

Новый этап развития кинематографа связан с возникновением кинематографических систем с широким экраном и со стереофоническим звуком. Этому предшествовали исследования, проведенные на киностудии «Союздетфильм» в 1936—1937 гг. (Б. Н. Коноплев, М. З. Высоцкий) и в НИКФИ в 1948—1949 гг. (П. Г. Тагер, А. И. Парфентьев, С. В. Марсов, С. Р. Жуковский) [21]. В течение 1955—1959 гг. НИКФИ, студиями «Мосфильм» и ЦСДФ, ЛИКИ, ГОИ и другими организациями были созданы и получили практическое применение системы с широким экраном: широкоэкранный кино с аноморфотной оптикой, широкоформатное кино с использованием киноплёнки шириной 70 мм. Эти работы основывались в существенной мере на исследованиях, выполненных Е. М. Голдовским [33—35].

Значительный вклад в создании комплексов технических средств новых систем кинематографа был внесен также В. И. Омелиным, Н. Д. Бернштейном, А. Г. Болтянским, Г. Л. Ирским, В. В. Петровым, С. А. Друккером, А. А. Хрущевым, Б. Г. Белкиным, Б. Н. Коноплевым, М. З. Высоцким, Ф. С. Новиком, С. В. Марсовым, Г. И. Хазановым, О. И. Иошиным, Р. М. Кашерининым, А. Н. Каральником и др.

Развитие систем звукового кинематографа привело к созданию комплексов технических средств, предназначенных для крупнейших залов многоцелевого назначения и включающих в себя технику демонстрации кинофильмов, киноизобразительного сопровождения концертных про-

грамм, усиления звука театральных спектаклей, различного рода собраний и заседаний [36].

Научно-исследовательские работы, выполненные в области звукового кинематографа в НИКФИ и других организациях (ЦКБК, ЛОМО, технических комплексов кинотехнического и звукотехнического оборудования Кремлевского дворца съездов, Октябрьского зала в г. Ленинграде, Дворца искусств в г. Ташкенте, при сооружении крупных универсальных залов в Свердловске, Тбилиси и др.

В последнее время в НИКФИ, ЛИКИ, ЦКБК, МКБК на киностудиях им. Горького, «Мосфильм», ЦСДФ, «Центрнаучфильм» были проведены исследовательские работы по созданию новой системы вариоскопического кинематографа; при этом в течение демонстрации фильма на экране происходят изменения соотношения сторон изображения, которое приобретает как горизонтальные, так и вертикальные пропорции в соответствии с художественным содержанием фильма. Такой метод отвечает одной из основных задач кинематографа — выделение наиболее главного и устранение того, что ослабляет или мешает воспринимать существенное в фильме [37]. Созданная система вариоскопического кинематографа основана в части ее изобразительных свойств на теоретических работах С. М. Эйзенштейна [38].

Перечисленные выше основные этапы развития кинотехники непосредственно связаны с развитием киноискусства. Наряду с этим начиная с 1952—1955 гг. возникает новое направление в кинематографии — создание эффектных кинозрелищ развлекательного, познавательного, информационного и рекламного характера для выставок, парков и т. п. В НИКФИ совместно с другими организациями были разработаны системы подобного назначения: кинопанорама (1957 г.), круговая кинопанорама (1959 г.) с экраном, охватывающим зрителей с нескольких сторон, полиэкранное кино (1959 г.) с проекцией фильма одновременно на нескольких экранах. Эти работы в значительной степени основываются на исследованиях, выполненных Е. М. Голдовским [39—40].

С 1962—1967 гг. на международных выставках начинают применяться новые эффектные кинозрелища с экраном, выполненным в виде сферы, расположенной сверху и вокруг зрителей (Синетариум, Спейсариум), с экранами, расположенными по вертикали и снизу зрителей (системы панорамного кино с вертикальным панорамированием) и др. [41].

В настоящее время благодаря исследованиям, проведенным в НИКФИ, ЛИТМО, ЛИКИ, ЦКБК, на киностудиях «Мосфильм», «Ленфильм», им. Довженко, созданы технические предпосылки для осуществления ряда новых эффектных кинозрелищ названного назначения: с проекцией на грандиозный сферический экран, охватывающий зрителей со всех сторон и сверху; с показом фильма на гигантском экране, заполняющем все поле зрения впереди и сверху; с вертикальным панорамированием изображения, проецируемого впереди, сверху и внизу зрителей; с использованием вариоскопического и полиэкранного методов проекции изображений на большие экраны.

В решении проблемы расширения выразительных возможностей кинематографа большая роль принадлежит созданию легкой, портативной, бесшумной, надежной и удобной в работе аппаратуры, используемой при съемке фильмов. Выполнение инженерно-конструкторских задач при съемке фильмов. Выполнение инженерно-конструкторских задач в данном направлении должно опираться на соответствующие научно-исследовательские работы.

Создание новых точных механизмов для киноаппаратуры является важным направлением научно-исследовательских работ, обеспечивающем

наряду с расширением выразительных возможностей кинематографа также повышение качества изображения и звука.

Существенный вклад в решение данной проблемы внесли специалисты НИКФИ, ЛИКИ, МКБК, ЦКБК, ОКБК (Н. Д. Берштейн, В. И. Омелин, С. М. Проворнов, И. С. Голод, А. М. Мелик-Степанян, Б. И. Радчик, С. И. Никитин, Г. А. Шмидт, Е. П. Бычков, В. С. Константинов, А. Н. Каральник, В. М. Быховский, А. П. Иванов и др. [42—45]).

Создание новой кинооптики: съёмочных объективов с переменным фокусным расстоянием, широкоугольных и длиннофокусных, имеющих малые абберации, легких и удобных в работе, является важным направлением работ, необходимым для дальнейшего расширения художественно-изобразительных возможностей кинематографа.

Существенный вклад в решение этой проблемы вносят специалисты ГОИ, ЛИТМО, ЦКБК (Д. С. Волосов, М. М. Русинев, А. И. Ган и др. [45, 46]).

Создание новых принципиальных схем построения объективов, изучение оптических элементов со сложными поверхностями и новыми оптическими средами с использованием современных методов математического анализа и вычислительной техники представляют собой пути научного прогресса.

Научные исследования в данной области должны составлять основу решения инженерных задач создания широкого ряда киносъёмочной, кинокопировальной и кинопроекционной оптики для многообразных систем кинематографа, как применяемых в настоящее время, так и создаваемых вновь.

Большие перспективы имеют исследование и создание растровых оптических устройств для фиксации и воспроизведения изображений. Имеется принципиальная возможность зафиксировать в черно-белом светочувствительном слое киноплёнки с растровой поверхностью основы цветное и стереоскопическое изображение движущихся объектов.

Несмотря на то что ранее сделанные за рубежом попытки практически применить такой метод в кинематографе не дали положительных результатов, дальнейшие работы в этом направлении целесообразно вести, используя новейшие достижения в области растровой оптики.

В кинематографии начинает находить применение волоконная оптика как в качестве средства передачи света, так и с целью передачи изображения. Исследования таких методов, позволяющих направлять свет вместо обычного прямолинейного пути по произвольному изогнутому направлению, могут быть реализованы при решении многих инженерных задач в кинематографии. Специалисты, работающие в области волоконной оптики, должны добиться существенного улучшения ее параметров, что откроет более широкие возможности применения в кинематографе этого прогрессивного вида оптики.

Светотехнические процессы и приборы являются важным разделом кинотехники, в существенной степени определяющим прогресс кинотехники как в отношении расширения художественно-выразительных возможностей кинематографа, так и улучшения качества изображения и повышения экономической эффективности.

Существенный вклад в создание новых осветительных приборов и устройств для съёмки, печати и проекции фильмов внесли специалисты НИКФИ, киностудий «Мосфильм», «Ленфильм», ЦСДФ, Всесоюзного научно-исследовательского института источников света, Московского электролампового завода, филиала Научно-исследовательского института электромеханики, киевского и одесского заводов «Кинап», Московского проекторного завода, Калининского комбината искусственной кожи (Г. Л. Ирский, Г. А. Голостенов, Т. В. Дербишер, Д. А. Гоухберг,

В. П. Сасоров, С. А. Друккер, Р. А. Нилендер, В. А. Карякин и др.) [47].

Создание принципиально новых схем осветительных устройств с новейшего вида источниками света (газоразрядными и галогенными лампами, сверхмощными угольными лампами), создание нового вида экранного контроля кинотехнических процессов представляет содержание этой научно-технической проблемы.

Указанные исследования должны составить основу для решения инженерных задач создания рядов легкой, эффективной, экономичной осветительной аппаратуры для киносъёмки, осветительных устройств, обеспечивающих высококачественную работу кинокопировальных аппаратов, широкого ряда надежной и экономичной кинопроекционной аппаратуры с большим диапазоном световых потоков для различных аудиторий — от самых мелких до крупнейших, на много тысяч зрителей.

Новые процессы фиксации изображения, отличные от применяемых в настоящее время, таит в себе возможность коренного преобразования кинотехники. К числу таких процессов относится голография, открывающая возможность получения объемных кинематографических изображений, основанных на совершенно новых принципах. Изучение данного метода в приложении к кинематографическому процессу, т. е. исследование возможности фиксации и воспроизведения таким путем объемных движущихся изображений, имеет серьезное перспективное значение.

Изучение и совершенствование процесса магнитной записи изображения также заслуживает внимания. Уже в настоящее время этот метод начинает практически использоваться для репетиционных записей при киносъёмках. При решении проблемы значительного повышения плотности магнитной записи и существенного улучшения характеристик телевизионных устройств, используемых в таких процессах, этот метод сможет найти в кинематографе широкое применение и коренным образом преобразовать его технические средства [48].

Интересные перспективы имеет использование в кинематографе методов электронно-оптических усилителей света, позволяющих значительно повысить результирующую светочувствительность в кинематографическом процессе. Это направление уже получило практическое применение. Сейчас исследовательские работы проводятся в НИКФИ, на киностудиях ЦСДФ и «Центрнаучфильм» с целью расширения области применения в кинематографе электронно-оптических методов усиления света.

Кинотелевизионные процессы начинают все шире применяться в кинематографе и в ближайшие годы будут составлять одно из ведущих направлений в прогрессе кинотехники. В кинематографических процессах начинают появляться звенья передачи изображения телевизионными методами, а в телевидении передача изображений теперь, как правило, осуществляется с использованием кинематографических процессов. Телевизионное визирование при съёмке, устройства для быстрого выбора режима печати цветных фильмов, телевизионные проекторы на большие экраны начинают применяться в кинематографии. Запись изображений на киноплёнку и применение магнитную ленту, передача по телевидению программ, снятых на киноплёнку, стали неотъемлемыми процессами телевизионных передач.

Разработка теоретических основ кинотелевизионных процессов была осуществлена П. Г. Тагером, Н. И. Тельновым, В. А. Бурговым, Г. В. Брауде, П. В. Шмаковым [49—51]. Работы по кинотелевизионным методам и аппаратуре проводились в НИКФИ, ЛИКИ, ЛЭИС, ВНИИПТ, на киностудиях «Мосфильм», «Ленфильм», им. Горького, Московском телевизионном центре, Киевской студии телевидения, Одесском

конструкторском бюро киноаппаратуры (В. А. Блаженков, А. И. Су-ский, Н. И. Шенфис, Л. Г. Гольдштейн, Л. Н. Шверник, М. И. Шульман, Ф. Ф. Проворов, А. Гольдин, В. В. Однолько, В. Л. Ма-зуренко и др. [49]).

Указанные выше направления работ в области кинотелевизионной техники являются актуальными и на ближайшее время. Исследование кинотелевизионных методов для целей комбинированных съемок, расширяющих изобразительные возможности кинематографа, также представляет перспективный интерес.

В связи с развитием цветного телевидения актуальной задачей является исследование процессов передачи цветных фильмов по телевидению с целью установления оптимальных режимов их изготовления и воспроизведения.

Большой интерес представляет проблема кинофикации нашей страны кинотелевизионным методом, путем передачи цветных фильмов по специальной телевизионной сети из централизованных пунктов к многочисленным киноустановкам с обеспечением качества изображения на уровне, достигнутом в кинематографе [52].

Кинофикация страны кинотелевизионным методом при современном уровне развития телевизионной техники (сложность, высокая стоимость, недостаточное качество изображения) не представляется реальной на ближайшие 5 лет. Однако задача научного прогнозирования такой возможности на последующий период времени вполне оправдана.

В расширении художественно-выразительных возможностей кинематографа большая роль принадлежит звуку. При этом создание новых звуковых процессов тесно связано с развитием процессов передачи изображения. Так, появление экранов больших угловых размеров (по отношению к зрителям) стимулировало создание многоканальных систем стереофонического воспроизведения звука с характерным для них изменением направления звука в соответствии с перемещением предметов на экране. При этом многоканальные системы дали возможность существенно улучшить качество звука [53—55].

Движение предметов в кинематографе обуславливает необходимость изменения уровня громкости и тона, если звуки связаны с движущимися предметами. Точное соответствие изображения и звука, их синхронизация в кинематографе в сильной степени обуславливают процессы звукозаписи, печати фонограмм, демонстрации фильмов. Монтаж фильма, его изобразительной части во многом зависит от звукового решения.

Движение, передаваемое в кинематографе, смена сцен с часто знакомыми зрителям акустическими условиями послужило основой для проводимых НИКФИ и студией «Ленфильм» интересных исследований внесения реверберационной окраски звука, различной для разных его направлений.

В области исследования процессов передачи звука важная задача — расширение выразительных возможностей кинематографа. Успешное решение этой задачи возможно только в том случае, если она будет решаться на основе изучения глубокой внутренней связи процессов передачи изображения и звука, представляющих собой единый кинематографический процесс с общими закономерностями его развития.

Расширение возможностей кинематографа происходит не только в направлении изыскания новых методов съемки и записи звука фильмов, но также находит выражение в осуществлении демонстрации фильмов для очень больших масс зрителей на экранах грандиозных размеров.

Развитие кинотехники происходит непрерывно в направлении увеличения масштабов кинематографа, увеличения световой мощности кинопроекторов, мощности усилителей и громкоговорителей, размеров экранов. Эта тенденция будет продолжаться и далее; она требует соответствующего

обеспечения исследовательскими работами и своим результатом имеет не только расширение выразительных возможностей кинематографа, но и повышение его роли в более массовом культурном обслуживании народа и усиление экономической эффективности.

Миниатюризация кинотехники

Для кинематографа, как и для многих областей современной техники, характерным направлением научно-технического прогресса является миниатюризация.

Миниатюризация продолжает успешно осуществляться в электронике, механике, оптике и других областях.

Снижение размеров и веса обуславливает уменьшение стоимости материалов, расходуемых на технику, упрощает пользование ею, позволяет осуществить съемку и проекцию фильмов в условиях, которые недоступны для громоздкой аппаратуры. Миниатюризация в кинематографе находит прежде всего свое выражение в развитии узкоплечной малоформатной кинематографии.

Создание и совершенствование систем узкоплечного малоформатного кинематографа, основанных на использовании киноплёнки шириной 16 и 8 мм, является одной из важнейших проблем кинематографии.

Трудности развития узкоплечного кинематографа обусловлены ограничениями в объеме передаваемой информации, которые возникают при сокращении размеров кадра на киноплёнке. Количественные оценки для этой закономерности могут выражаться величиной информационной емкости кинематографической системы, определяемой значением максимально возможного числа элементов изображения, которые могут быть переданы в процессе [56]. Поэтому те виды кинематографа, которые требуют меньшего потока информации, более быстро прогрессируют в направлении их миниатюризации.

Инженерные работы в этой области должны опираться на научные исследования. Как показывает опыт развития кинотехники, быстрый прогресс в данной области возможен лишь в том случае, если исследовательские работы будут основываться не только на достижениях смежных с кинематографом отраслей науки и техники, но и на научных исследованиях, опирающихся на фундаментальные закономерности кинематографа как самостоятельной отрасли прикладной науки и техники.

Другим важным направлением миниатюризации кинотехники является перевод звукотехнической аппаратуры и преобразовательных устройств электропривода и электропитания полностью на полупроводниковые приборы. Работы, проводимые в этом направлении, должны быть ускорены.

Большие перспективы имеет миниатюризация технических средств в кинематографе, используемом для научных исследований и технического контроля. Сюда относятся замедленные, ускоренные и сверхскоростные киносъемки, съемки микрообъектов; киносъемки в условиях космоса, при интенсивной радиации, высоких и низких температурах, для управления и контроля различных систем, для целей вычислительной техники и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Г. Комар, Искусство кино, 1959, 7, 121.
- [2] В. Г. Комар, Техн. кино и телевид., 1960, 6, 28.
- [3] В. Г. Комар, Тр. V конгр. УНИАТЕК, М., 1962, 24.
- [4] Е. М. Голдовский, Физические основы кинотехники. Госкиноиздат, М., 1939.
- [5] Е. М. Голдовский, Введение в кинотехнику. Госкиноиздат, М., 1947.
- [6] Е. М. Голдовский, Основы кинотехники. Изд. «Искусство», М., 1965.
- [7] L. J. Wheeler, Principles of Cinematography. London, 1963.
- [8] Е. М. Голдовский, JSMPTЕ, 1964, 73, 8, 643.
- [9] В. Г. Комар, Техн. кино и телевид., 1962, 10, 1.

- [10] В. Г. Комар. Техн. кино и телевид., 1968, 4, 2.
- [11] М. А. Айнгори. Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1968, 13, 214.
- [12] В. Ромер, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1960, 5, 225, 379, 463.
- [13] Ю. Н. Гороховский. Спектральные исследования фотографического процесса. Физматгиз, Л., 1960.
- [14] Н. Д. Нюберг, Г. С. Баранов, Н. С. Овечкис. Усп. научн. фотогр., 1954, II, 72.
- [15] М. Абриба. Тр. V конгр. УНИАТЕК, М., 1962, 50.
- [16] Л. Ф. Артюшин. Цветовоспроизведение в кино, фотографии и полиграфии. Изд. «Искусство», М., 1968.
- [17] В. Г. Комар. JSMPTЕ, 1966, 75, 4, 327.
- [18] Е. Н. Геллер. Техн. кино и телевид., 1967, 11, 11.
- [19] С. А. Бонгард. Техн. кино и телевид., 1967, 10, 23.
- [20] Б. Н. Коноплев. Производство кинофильмов. Изд. «Искусство», М., 1962.
- [21] А. А. Хрущев. Техн. кино и телевид., 1967, 10, 10.
- [22] А. И. Парфентьев. Физические основы оптической записи звука. Гостехиздат, М., 1953.
- [23] В. А. Бургов. Основы записи и воспроизведения звука. Изд. «Искусство», М., 1954.
- [24] М. З. Висоцкий. Магнитная звукозапись кинофильмов. Изд. «Искусство», М., 1960.
- [25] А. И. Парфентьев, А. Н. Качерович, А. А. Хрущев. Звуко-техника кинематографии. Госкиноиздат, М., 1950.
- [26] В. Г. Комар. Техн. кино и телевид., 1965, 12, 1.
- [27] В. Г. Комар, С. М. Козловский, Тр. XVIII Междунар. психол. конгр., 1967.
- [28] Е. М. Голдовский. 30 лет советской кинотехники. Госкиноиздат, М., 1950.
- [29] Н. Д. Нюберг. Теоретические основы цветной репродукции. Изд. «Сов. наука», М., 1948.
- [30] Л. Ф. Артюшин. Цветовоспроизведение в кино, фотографии и полиграфии. Изд. «Искусство», М., 1968.
- [31] Н. С. Овечкис. Усп. научн. фотогр., 1954, II, 145.
- [32] Б. Т. Иванов. Стереокинотехника. Изд. «Искусство», М., 1956.
- [33] Е. М. Голдовский. Принципы широкоэкранного кинематографа. Изд. «Искусство», М., 1956.
- [34] Е. М. Голдовский. Проблемы панорамного и широкоэкранного кинематографа. Изд. «Искусство», М., 1958.
- [35] Е. М. Голдовский. Принципы широкоформатного кинематографа. Изд. «Искусство», М., 1962.
- [36] А. А. Хрущев. Тр. V конгр. УНИАТЕК, М., 1962, 143.
- [37] В. Г. Комар, А. Г. Болтинский, Н. Д. Берштейн, Г. Л. Ирский. Техн. кино и телевид., 1967, 6, 10.
- [38] С. М. Эйзенштейн. Динамический квадрат. Собр. соч., т. 2, изд. «Искусство», М., 1963, 317.
- [39] Е. М. Голдовский и др. Тр. НИКФИ, 1957, 9, 146.
- [40] Е. М. Голдовский и др. Тр. НИКФИ, 1960, 38, 49.
- [41] В. Г. Комар, Л. Г. Ларонов, М. М. Лисогор. Техн. кино и телевид., 1967, 3, 70.
- [42] А. М. Мелик-Степанян, С. М. Проворнов. Детали и механизмы киноаппаратуры. Изд. «Искусство», М., 1959.
- [43] С. М. Проворнов, И. С. Голод, Н. Д. Берштейн. Киноопироваальная аппаратура. Изд. «Искусство», М., 1962.
- [44] И. Б. Гордийчук. Советская киносъемочная аппаратура. Изд. «Искусство», М., 1966.
- [45] Д. С. Волосов, М. В. Цивкин. Теория и расчет светооптических систем. Изд. «Искусство», М., 1960.
- [46] Ф. С. Новик, П. А. Ногин. Киносъемочная оптика. Изд. «Искусство», М., 1968.
- [47] Г. А. Голостенов, Т. В. Дербисер, С. А. Друккер, Г. Л. Ирский, В. Г. Пель. Светотехника, 1967, 9, 1.
- [48] И. В. Рузанов, В. И. Пархоменко. Тех. кино и телевид., 1967, 11, 19.
- [49] В. Г. Комар, в сб.: Телевизионная техника, Связьиздат, М., 1969.
- [50] В. А. Бургов. Тех. кино и телевид., 1967, 9, 5.
- [51] В. А. Бургов. Основы кинотелевизионной техники. Изд. «Искусство», М., 1964.
- [52] Е. М. Голдовский, Н. И. Тельнов. Техн. кино и телевид., 1963, 9, 1.
- [53] П. Г. Тагер. Тр. НИКФИ, 1968, 54, 29.
- [54] В. В. Фурдуев. Техн. кино и телевид., 1967, 2, 1.
- [55] М. З. Висоцкий. Большие киноэкраны и стереофония. Изд. «Искусство», М., 1966.
- [56] В. Г. Комар, Н. Д. Берштейн. Техн. кино и телевид., 1965, 5, 9.

О. Ф. ГРЕБЕННИКОВ, С. М. ПРОВОРНОВ

ФОТОКИНОАППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Наиболее важным свойством фотокиносъемок является то, что фотографические материалы позволяют фиксировать изображения с очень малыми выдержками. Последнее делает фотографию и кинематографию незаменимым средством для исследования быстропротекающих процессов. Для исследования быстропротекающих процессов используются специальные высокоскоростные фото- и киноаппараты, устройство которых значительно отличается от устройства обычных фото- и киноаппаратов. В данной статье дается обзор состояния техники высокоскоростной фотографии и кинематографии главным образом в Советском Союзе и частично за рубежом.

В настоящее время практическое распространение получили два метода фотографической фиксации изменения объекта съемки во времени.

В основе первого метода лежит последовательное фотографирование фаз изменения объекта съемки в виде ряда дискретных кадров (кадрированная съемка).

Второй метод основан на непрерывной фотографической фиксации изменений объекта съемки во времени путем перемещения оптического изображения объекта съемки, разложенного на дискретные элементы, относительно светочувствительного материала (непрерывная съемка). Смазывание фотографического изображения предострачивается за счет того, что в направлении перемещения размеры элементов выбираются предельно малыми. В высокоскоростной съемке получили применение оба метода.

Аппаратура для кадрированной съемки

Многие советские и зарубежные ученые предлагали различные варианты классификации способов построения аппаратуры для кадрированной высокоскоростной съемки [1—4]. Наиболее полно охватывает современные виды аппаратуры классификация, предложенная И. А. Черсовременные виды аппаратуры классификации, аппаратура делится на четыре группы по признаку взаимного перемещения оптического изображения снимаемого объекта светочувствительного материала.

Аппаратура с прерывистым движением киноплёнки. Скачкообразное перемещение киноплёнки и неподвижное оптическое изображение. Экспонирование производится во время покоя плёнки.

Аппаратура с короткой выдержкой. Непрерывное относительное перемещение киноплёнки и оптического изображения. Экспонирование про-

изводится с короткой выдержкой, за время которой относительное смещение пленки и оптического изображения не превышает допустимой нерезкости изображения.

Аппаратура с оптической компенсацией. Непрерывное перемещение кинопленки и скачкообразное движение при помощи компенсатора оптического изображения. Экспонирование производится при неподвижном относительно пленки оптическом изображении.

Аппаратура с коммутацией изображений. Скачкообразное перемещение оптического изображения относительно неподвижного светочувствительного материала. Перемещение оптического изображения достигается специальными коммутаторами.

Существуют камеры, в которых для расширения эксплуатационных возможностей используются комбинированные способы относительного смещения пленки и оптического изображения. Например, в некоторых камерах с непрерывным движением кинопленки с целью увеличения частоты киносъемки используются вспомогательные коммутационные устройства, распределяющие оптические изображения последовательных кадров в два или несколько рядов на кинопленке. В камерах с коммутацией изображений для увеличения оптической емкости [6] иногда используется вспомогательное перемещение кинопленки.

Аппаратура с прерывистым движением кинопленки (табл. 1)

В камерах с таким движением киноленты, как правило, используются лентопротяжные механизмы, в которых прерывистое движение ленте сообщает грейферный механизм. Реже применяются пальцевые механизмы [7] и механизмы, в которых прерывистое движение достигается за счет упругих сил самой ленты [8].

В 1936—1940 гг. в ЛИКИ Г. Ф. Стаалем была проведена работа по исследованию грейферных механизмов высокоскоростных камер. В результате проведенной работы были разработаны [9] технические требования на высокоскоростные аппараты и установлено, что в связи с большими инерционными усилиями, возникающими при прерывистом транспортировании ленты, частота киносъемки при использовании 35-мм пленки

Таблица 1

Технические показатели камер с прерывистым движением кинопленки [11]

Аппарат и фирма	Формат киноленты, мм	Шаг кадра, мм	Размер кадра, мм	Максимальная частота съемки, кадр/сек.	Снабженный механизм
5В (Фотосоник Инкорпорейшен)	70	29.7	29×57	80	Грейфер
Регистрирующая кинокамера (Митчелл)	70	59.4	57×57	90	»
1В (Фотосоник Инкорпорейшен)	70	5.94	5.5×57	400	Двойной грейфер
Хай-спид (Митчелл камера корпорейшен)	35	19	16×22	225	Грейфер
Гранд-Витесс (А. Бурдери)	35	19	18×24	300	»
1А (Фотосоник Инкорпорейшен)	16	7.62	7.5×10.4	300	Двойной грейфер
ДВМ-4АМ (Милликен Компорейшен)	16	7.62	7.6×10.2	400	Грейфер

на нитроцеллюлозной основе со стандартным размером кадра не может превышать 250—300 кадр/сек.

В настоящее время в Советском Союзе серийно выпускаются аппараты: 1КСК [10] — для съемок на 35-мм пленке со стандартным размером кадра и частотой киносъемки до 110—130 кадр/сек. и 70КСК для съемок на 70-мм пленке со стандартным размером кадра и частотой киносъемки до 80 кадр/сек.

За границей аппаратура для высокоскоростной киносъемки на прерывисто движущейся ленте выпускается с первых лет появления кинематографа.

Высокоскоростные камеры с прерывистым движением кинопленки не ограничены в выборе съемочной оптики и могут обеспечить получение предельно высокого качества изображения при высокой точности расположения кадров на киноленте. Аппаратура с прерывистым движением кинопленки должна найти широкое распространение для исследования процессов с частотой киносъемки до 250—300 кадр/сек.

Аппаратура с короткими выдержками

Короткие выдержки могут быть получены путем использования быстродействующих затворов или импульсных источников света, освещающих объект съемки.

В качестве быстродействующих затворов получили распространение щелевые obturators, которые при съемке вращаются с равномерной скоростью, периодически открывая доступ света к светочувствительному материалу. Аппараты со щелевыми obturators детально изучены А. А. Сахаровым [12].

Качество получаемого в результате съемки изображения в значительной степени определяется величиной сдвига за время выдержки оптического изображения относительно кинопленки. Величина сдвига изображения равна [12]

$$\Delta S = H \frac{t}{T},$$

где H — шаг кадра; t — выдержка; T — период смены кадров.

Из приведенной формулы следует, что для получения малой величины сдвига изображения необходимо обеспечить очень малое отношение выдержки к периоду смены кадров, которое принято называть коэффициентом obturации камеры. Малое значение этой величины благоприятно сказывается на четкости получаемых изображений движущихся объектов, однако ограничивает область использования щелевых камер съемками только очень ярких объектов.

Величину коэффициента obturации, как видно из приведенной формулы, можно увеличить уменьшением шага кадра. В некоторых камерах, например предназначенных для исследования полета ракет [13], кадр имеет вид узкой полосы, что позволяет применять малый шаг кадра. Во многих случаях для уменьшения шага кадра применяют комбинированный способ смещения оптического изображения с использованием коммутации изображений. Так, в камере фирмы AEG последовательные кадры располагаются на пленке в восемь рядов. Последнее позволило, на уменьшая высоты кадра, уменьшить шаг в восемь раз. Коммутация осуществляется призматической приставкой и щелевым obturатором. В камере ГОИ ФП-36 [14] последовательные кадры располагаются в 34 ряда, что достигается применением набора из 34 съемочных объективов, включаемых последовательно щелевым obturатором.

Короткие выдержки могут быть получены также с использованием искровых или импульсных источников света, которые освещают объект съемки и включаются синхронно движению пленки в аппарате. Такие установки непригодны для исследования самосветящихся процессов.

Аппараты с короткими выдержками могут найти применение для специальных целей. Серийно в Советском Союзе такие аппараты не выпускаются.

Аппаратура с оптической компенсацией (табл. 2)

Эти камеры обеспечивают наиболее употребительный диапазон частот киносъемки от 300 до 10 000 кадр/сек. и поэтому они широко распространены как в Советском Союзе, так и за рубежом. Теория оптических компенсаторов разработана советскими учеными А. С. Дубовиком и С. В. Кулагиним [15, 16].

В современной высокоскоростной аппаратуре встречаются три типа компенсаторов — призматические, зеркальные и линзовые.

На рис. 1 приведены некоторые схемы компенсаторов, получивших практическое применение в высокоскоростных камерах. На рис. 1, а показана схема компенсатора, примененного в серийно выпускаемых камерах СКС-1, Фастакс, Пентацет-16 и др. Установленная за съемочным объективом 1 вращающаяся призма 2 смещает оптическое изображение. Призма может иметь четыре (как показано на рисунке) или большее количество граней. В одних камерах (СКС-1, Фастакс) экспонирование пленки 3 производится на зубчатом барабане 4, в других (Пентацет-16) — в फिल्मовом канале.

Призма компенсатора должна вращаться строго синхронно с вращением зубчатого барабана. В камерах, имеющих оптическую схему 1, а, призма компенсатора соединена с транспортирующим ленту зубчатым барабаном посредством шестерен, за счет неточности изготовления которых возможно нарушение синхронности движения изображения и пленки. В некоторых камерах с целью устранения отмеченного недостатка призма компенсатора соединена с зубчатым барабаном жестко.

На рис. 1, б показана схема оптического компенсатора камеры Ротакс [17]. Экспонирование пленки 3 производится на зубчатом барабане 4, который укреплен на одном валу с призмой компенсатора 2. Оптическое изображение, образуемое съемочным объективом 1 и призмой 2, переносится на поверхность кинопленки промежуточным объективом 5 и блоком призм 6.

Представляет интерес разработанная в Ленинградском институте точной механики и оптики камера с оптической компенсацией ССКС-1 [18]. Схема этой камеры приведена на рис. 1, в. Съемка производится на виток пленки шириной 190 мм, укрепленный на барабане 7. С целью увеличения частоты киносъемки и оптической емкости в камере применено устройство для коммутации последовательных кадров на 15, 9 или 5 рядов. Коммутация осуществляется блоком призм 8, набором объективов 9 и экспозиционной щелью 10.

На рис. 1, г приведена схема 16-мм луны времени фирмы Цейсс-Икон. В этой камере оптическая компенсация обеспечивается вращающимся многогранным зеркальным барабаном 11, установленным перед съемочным объективом 1. Фокусирование съемочного объектива достигается набором сменных линз 12. В камерах с зеркальными барабанами, имеющими наружное расположение зеркал, трудно получить большой коэффициент обтюрации и обеспечить достаточно высокую равномерность экспозиции по высоте кадра. Лучшие результаты в этом отношении обеспечивают камеры с зеркальным барабаном, имеющим внутреннее рас-

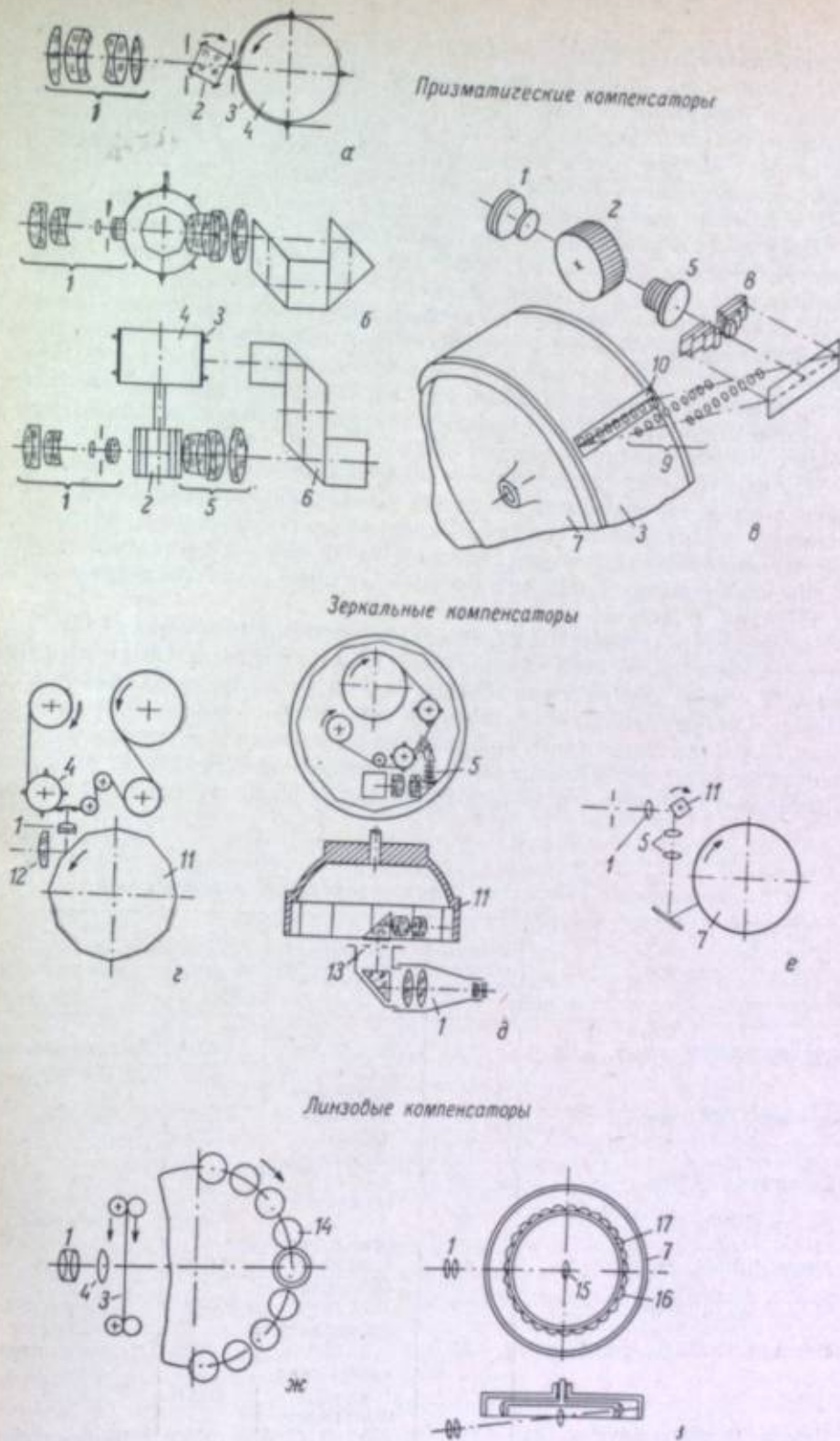


Рис. 1. Схемы оптических компенсаторов.

1 — съемочный объектив; 2 — призма компенсатора; 3 — кинопленка; 4 — зубчатый барабан; 5 — промежуточный объектив; 6 — призматический блок; 7 — вращающийся барабан; 8 — блок призм коммутатора; 9 — объективы коммутатора; 10 — щелевая диафрагма; 11 — зеркальный барабан компенсатора; 12 — вращающаяся линза; 13 — диафрагма поля зрения; 14 — линзы компенсатора; 15 — коллектив; 16 — линза компенсатора; 17 — барабан.

положение зеркал. Такой барабан используется в камере Пентацет-35 [19]. Оптическая компенсация в камере Пентацет-35 производится зеркальным барабаном II (рис. 1, *д*). Съёмочный объектив I строит изображение объекта съёмки в плоскости диафрагмы 13; это изображение является объектом для промежуточного объектива 5, который образует изображение объекта съёмки в плоскости киноплёнки. Весь лентопотяжный механизм камеры расположен внутри зеркального барабана.

На рис. 1, *е* приведена схема компенсатора, разработанного в Институте химической физики АН СССР [20]. Съёмочный объектив I строит изображение объекта съёмки вблизи отражающей грани зеркального барабана II, который выполняет функцию оптического компенсатора. Промежуточный объектив 5 переносит это изображение на поверхность витка плёнки, укрепленного на вращающемся барабане 7. Камера Института химической физики отличается очень малой величиной коэффициента оборота (1 : 40) при практически равных величинах выдержки и общего времени экспонирования кадра.

На рис. 1, *ж* приведена схема линзового компенсатора с расположением линз 14 на вращающемся диске. Съёмочный объектив I при съёмке остается неподвижным, смещение оптического изображения достигается перемещением дополнительных линз 14. Такая система оптической компенсации использована в камерах фирмы «Аскания», в камерах фирм «АЭГ» и «Мерли и Мэри».

В Институте химической физики разработана и изготовлена [16] камера другого типа, схема этой камеры приведена на рис. 1, *з*. Съёмочный объектив I строит изображение объекта съёмки в плоскости коллектива 15. Набор промежуточных объективов 16 закреплен на вращающемся барабане 17. Объективы строят изображение на поверхности плёнки, закрепленной на внутренней поверхности вращающегося барабана 7. Скорости вращения барабанов 7 и 17 подобраны таким образом, что за время вы-

держки плёнка и оптическое изображение движутся с одинаковыми скоростями синхронно друг другу.

Камеры с оптической компенсацией обеспечивают получение достаточно высокого качества изображения и могут иметь сравнительно высокую светосилу. Они должны найти широкое распространение для исследования быстропротекающих процессов с частотами съёмки от 300 до 10 000 кадр/сек. В настоящее время в Советском Союзе серийно выпускается лишь одна модель камеры с оптической компенсацией (камера СКС-1М), однако эта камера не может удовлетворить современных требований к высокоскоростным камерам.

Для исследования различных быстропротекающих процессов со средними частотами киносъёмки необходимо наладить серийный выпуск камер с оптической компенсацией для 16- и 35-мм киноплёнок. Эти камеры должны быть достаточно универсальными, для чего в комплект камер должны входить кассеты различной емкости, позволяющие производить перезарядку аппарата на свету, приспособления для макро- и микрокиносъёмки, набор съёмочных объективов с различными фокусными расстояниями и тому подобные принадлежности.

Аппаратура с коммутацией изображений (табл. 3)

Эти камеры позволяют производить киносъёмку на неподвижном светочувствительном материале. Практическое применение получили аппараты с оптической, механической, электрической и электронно-оптической коммутацией. Наиболее распространены камеры с оптической коммутацией.

Камеры с оптической коммутацией обеспечивают возможность проведения киносъёмки с частотами до нескольких миллионов кадров в секунду. Фундаментальные работы по исследованию метода оптической коммутации и разработке аппаратуры проделаны советскими учеными Г. Л. Ширманом [21], А. С. Дубовиком [22, 23], А. Б. Граннигом [24], И. И. Крыжановским [18] и др.

Камеры с оптической коммутацией характеризуются применением многообъективных фотографирующих систем, последовательное включение которых осуществляется вращающимися с равномерной скоростью зеркалами. Наиболее распространены в камерах с оптической коммутацией три типа зеркальных разверток:

- 1) с прямым входом; оптическая ось съёмочной оптики расположена под прямым углом к оси вращения зеркала;
- 2) с наклонным входом; оптическая ось съёмочной оптики расположена под углом, несколько меньшим 90° , к оси вращения зеркала;
- 3) с соосным входом; оптическая ось съёмочной оптики совпадает с осью вращения зеркала, расположенного под углом 45° к оси своего вращения.

На рис. 2, *а* приведена схема камеры с прямым входом. Съёмочный объектив I и коллектив 2 строят изображение объекта съёмки в плоскости, пересекающей плоскость вращающегося зеркала 3. Коллектив 2 изображает выходной зрачок съёмочного объектива во входных зрачках промежуточных объективов 4. Последние образуют на поверхности киноплёнки 5 оптические изображения объекта съёмки.

При съёмке зеркало приводится во вращение с постоянной скоростью, что обеспечивает последовательное экспонирование кадров за промежуточными объективами. Оптическая емкость определяется количеством промежуточных объективов. Съёмка возможна только при определенном положении зеркала, вследствие чего камеры, имеющие подобную опти-

Таблица 2
Технические показатели камер с оптической компенсацией

Аппарат	Формат киноплёнки, мм	Размер (в мм) и расположение кадров	Частота киносъёмки, кадр/сек.	Способ смещения киноплёнки
СКС-1М (СССР), рис. 1, <i>а</i>	16	7.5×10.5 и 3.7×5.1;	4000 8000	Лентопотяжный механизм
Фастакс (США), рис. 1, <i>а</i>	16	7.5×10.5 18×24;	9000	То же
	35		3250	
Пентацет-16 (ГДР),	16	однорядное 7.5×10.5;	3000	» »
Ротакс (ФРГ), рис. 1, <i>б</i>	35	однорядное 18×24;	500	» »
Хикам (США), рис. 1, <i>б</i>	16	однорядное 7.5×10.5;	11000	» »
ССКС-1 (СССР), рис. 1, <i>а</i>	190	однорядное 3.6×6.0;	200000	Вращающийся барабан
Пентацет-35 (ГДР), рис. 1, <i>д</i>	35	многорядное 18×24,	2000	Лентопотяжный механизм
		однорядное; 4×4.5,	40000	
Камера Института химической физики АН СССР, рис. 1, <i>е</i>	190	многорядное 55×70	2500	Вращающийся барабан
Камера Института химической физики АН СССР, рис. 1, <i>з</i>	16	7.5×10.5	2500	То же

ческую систему, возможно синхронизировать с объектом съемки подачей синхронизирующего импульса только от камеры к объекту съемки. Такой способ синхронизации ограничивает область использования камер данного типа съемками объектов, поддающихся синхронизации с достаточно высокой точностью. Схема, приведенная на рис. 2, а, использована в выпускаемой серийно в Советском Союзе камере СФР [25].

Основное направление работ конструкторов камер с оптической коммутацией направлено в настоящее время на изыскание путей создания ждущих камер, не требующих синхронизации с объектом съемки. Как показали исследования [24, 26], в камерах с одним прямым входом получить ждущий режим работы невозможно. Для создания ждущей развертки необходимо иметь по крайней мере два входа и два вращающихся зеркала, как показано на рис. 2, б, где приведена схема ждущей камеры ЖЛВ [27], разработанной в Институте физики Земли АН СССР.

Световой поток от съемочного объектива 1 при помощи зеркал 6 делится на два канала — верхний и нижний. В соответствии с этим в камере используются два вращающихся зеркала 3 и четыре вставки с промежуточными объективами 4. Съемка производится на две петли пленки 5, расположенной в два ряда. За счет такого усложнения оптической схемы удалось создать ждущую систему развертки.

Еще более сложная схема использована в ждущих камерах ССКС-3 и ССКС-4, разработанных в Ленинградском институте точной механики и оптики [28] (рис. 2, в). При помощи разделительного призматического блока 7 световой поток делится на четыре канала, в соответствии с чем применены четыре вращающихся зеркала 3 и восемь вставок с промежуточными объективами 4.

Проще обеспечивается ждущий режим работы в камерах с наклонным вводом, которые нашли применение за рубежом. На рис. 2, г приведена схема камеры Брикнера [29], в которой благодаря применению наклонного ввода ждущая развертка осуществляется одним двухсторонним вращающимся зеркалом 3 и двумя вставками с промежуточными объективами 4. В камере используются два входа, разделение светового потока на два канала достигается полупрозрачным зеркалом 8. За счет наклона оптических осей в подобных камерах несколько ухудшается качество получаемого изображения вследствие некоторой дефокусировки изображения на краю кадра. Последний недостаток устранен в камере Бекман и Уитли (модель 192) [30] (рис. 2, д). Перед пленкой расположены зеркало 6, обеспечивающие совпадение плоскости изображения с плоскостью пленки. Развертка изображения достигается трехгранным зеркалом 3. Призматическое зеркало 9 делит световой поток на два канала. В остальном работа камеры не отличается от работы камеры Брикнера.

Ждущий режим работы наиболее легко обеспечить в камерах с соосным входом. Соосный вход использован в камере УВЧКС, разработанной в Научно-исследовательском кинофотоинституте [31] (рис. 2, е). Оптическая ось съемочного объектива 1 совпадает с осью вращения призмы полного внутреннего отражения 10, которая выполняет в этой камере функцию вращающегося зеркала. Отражающая грань призмы расположена под углом 45° к оптической оси съемочного объектива. Съемочный объектив 1 и коллектив 2 образуют изображение объекта съемки в районе отражающей грани призмы 10. По окружности с центром на оси вращения призмы расположены промежуточные объективы 4. Вследствие того что отражающая грань призмы наклонена к оси ее вращения, оптическое изображение при перемещении по поверхности киноплемки 5 будет поворачиваться вокруг оптической оси промежуточных объективов. Для устранения этого вращения в камерах с соосным входом применяются призмы Довэ или Пехана 11, которые устанавливаются перед съемочным

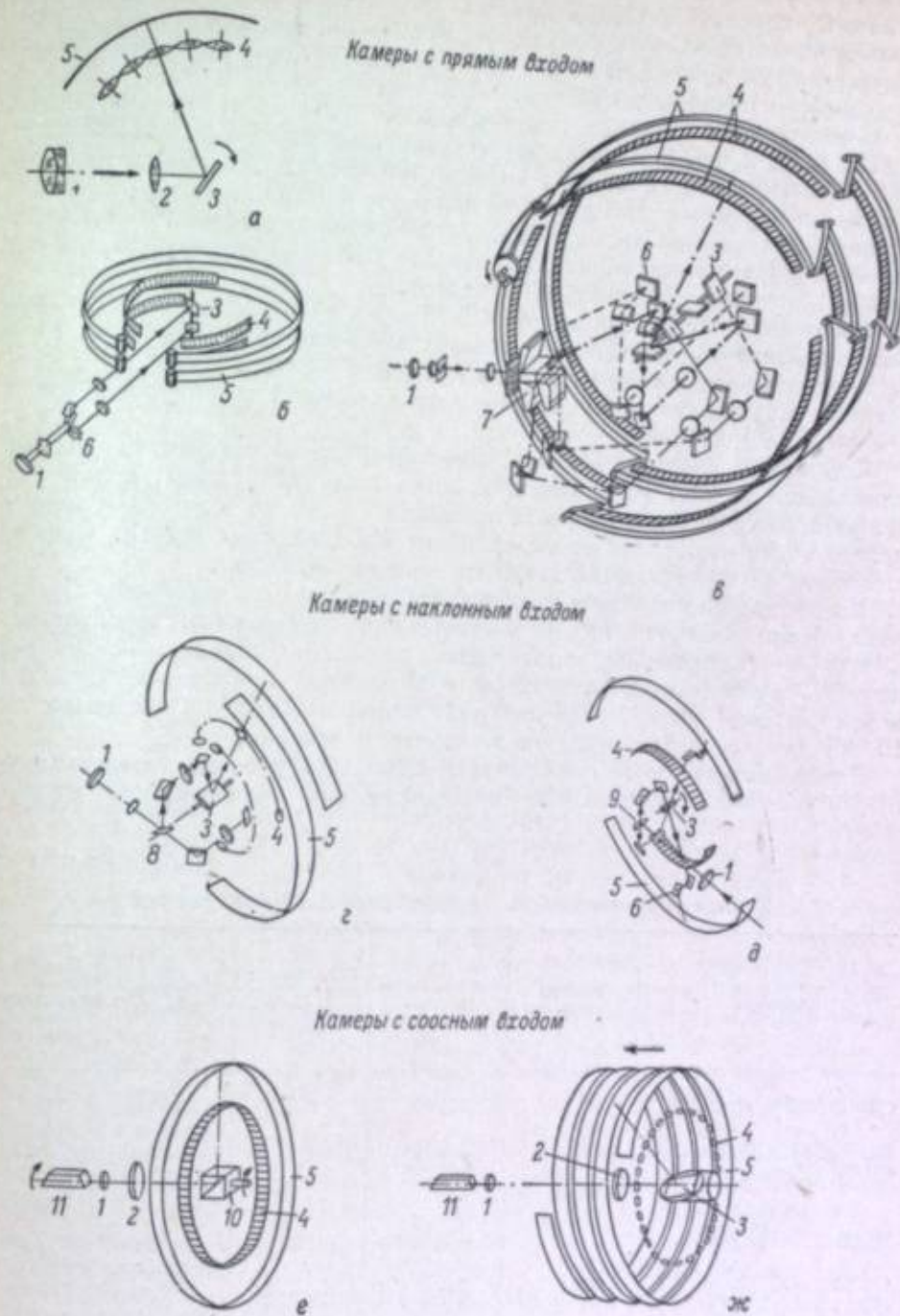


Рис. 2. Схемы камер с оптической коммутацией.

1 — съемочный объектив; 2 — коллектив; 3 — вращающееся зеркало; 4 — промежуточные объективы; 5 — киноплемка; 6 — зеркала; 7 — разделительные призмы; 8 — полупрозрачное зеркало; 9 — зеркальная призма; 10 — призма-куб; 11 — призма Довэ.

объективом и при работе камеры вращаются со скоростью, в два раза меньшей скорости вращения зеркала (или призмы 10). Как следует из приведенной схемы, в камерах с соосным входом ждущий режим работы обеспечивается при одном входе, одном зеркале и одной круговой вставке с промежуточными объективами.

Соосный вход применен также в камере ФП-22 [32], разработанной в ГОИ (рис. 2, ж). Отличительной особенностью камеры ФП-22 является то, что пленка 5 расположена по винтовой линии. При съемке барабан с пленкой перемещается вдоль оси вращения зеркала 3. За время одного оборота зеркала барабан с пленкой перемещается на шаг винтовой линии. Такая конструкция позволила значительно увеличить оптическую емкость камеры, которая достигает 7600 кадров.

Увеличение частоты киносъемки в камерах с оптической коммутацией можно достигнуть уменьшением размера кадра или светосилы оптической системы либо увеличением скорости вращения зеркала. Последнее достигается в зарубежных камерах применением гелиевых турбин для привода вращающихся зеркал.

Советскими учеными [21, 33] предложен способ увеличения частоты киносъемки за счет использования оптических ускорителей, в которых достигается увеличение скорости вращения отраженного луча при многократном отражении его от поверхности вращающихся зеркал. Однако широкого распространения такие системы не получили.

Из приведенного обзора следует, что выпускаемая серийно в Советском Союзе камера СФР не соответствует современным требованиям к камерам с оптической коммутацией, поскольку она не обеспечивает ждущего режима работы. Камеры с оптической коммутацией должны найти широкое распространение для съемок процессов с частотами от 10 000 до нескольких миллионов кадров в секунду.

В камерах с механической коммутацией используются несколько съемочных объективов, включаемых последовательно вращающимся диском

с одной или несколькими щелями. Известно несколько конструкций камер с механической коммутацией, наибольшее распространение получила камера фирмы «Аскания». В этих камерах имеет место пространственный параллакс в изображениях последовательных кадров, поэтому такие камеры могут получить применение лишь для некоторых специальных целей.

Вызывают известный интерес камеры с электрической коммутацией изображений, осуществляемой последовательным включением импульсных источников света, оптически сопряженных с входными зрачками съемочных объективов. Такие установки позволяют производить киносъемки с довольно большими частотами при высоком качестве получаемых изображений. В одной из установок, созданных в Советском Союзе [34], съемка производится с частотой до 150 000 кадр/сек. Установки с электрической коммутацией пригодны для съемок только несамосветящихся процессов в проходящем свете, поэтому они могут использоваться только для специальных целей.

Электронно-оптическая коммутация осуществляется с использованием электронно-оптических преобразователей. Многокадровая съемка с помощью электронно-оптических преобразователей, снабженных электронным затвором, достигается путем скачкообразного перемещения электронного изображения в горизонтальном и вертикальном направлениях. Экспонирование производится в моменты остановки изображения. В соответствии с этим на горизонтальные и вертикальные пластины преобразователя подаются многоступенчатые отклоняющие импульсы, а на пластины затвора — прямоугольные импульсы, отпирающие преобразователь. Число кадров в ряду и количество рядов определяются числом «ступенек» отклоняющих импульсов, а частота съемки — их длительностью.

Киносъемочные устройства с электронно-оптическими преобразователями состоят из съемочного объектива, проецирующего изображение объекта на фотокатод, собственно электронно-оптического преобразователя и промежуточного объектива, переводящего изображение с экрана на фотоматериал. Установки с электронно-оптическими преобразователями могут иметь большую светосилу, особенно если используются многокаскадные электронно-оптические преобразователи. В одной из разработанных в Советском Союзе установок [35] с использованием преобразователя ПИМ-3 достигается частота киносъемки до $5.0 \cdot 10^6$ кадр/сек. при оптической емкости 16 кадров и эквивалентном относительном отверстии системы 1 : 3.

Камеры с электронно-оптическими преобразователями могут найти широкое распространение, особенно для съемок объектов малой яркости.

Таким образом, на основе проведенного обзора состояния техники для кадровой киносъемки можно сделать вывод, что в Советском Союзе разработано большое количество типов камер, некоторые из которых не уступают лучшим иностранным образцам. Однако серийно выпускаемые четыре типа камер (1-КСК, 70-КСК, СКС-1М и СФР) не могут удовлетворить разнообразных потребностей экспериментаторов для исследования быстропротекающих процессов.

Аппаратура для непрерывной киносъемки

Известны три способа построения аппаратов для непрерывной киносъемки — это растровые камеры, камеры с диссекцией изображений и фоторегистраторы.

Таблица 3

Технические показатели камер с оптической коммутацией

Аппарат	Размер кадра, мм	Частота киносъемки, кадр/сек.	Эквивалентное относительное отверстие	Привод зеркала	Камера и способ синхронизации с объектом
СФР (СССР), рис. 2, а	5×5	$2.5 \cdot 10^6$	1 : 12	Электро-двигатель	От камеры
ВСКС-5 (СССР), рис. 2, а	3.6×10.5	$6.0 \cdot 10^6$	1 : 28	То же	То же
СР-5 (Англия), рис. 2, а	Круг диаметром 8.2 мм	$8.0 \cdot 10^6$	—	Турбина	» »
ЖЛВ (СССР), рис. 2, б	5×5	$4.5 \cdot 10^6$	1 : 20	Электро-двигатель	Ждущая
ССКС-3 (СССР), рис. 2, в	7.5×10.5	$3.0 \cdot 10^6$	1 : 7.8	То же	»
ССКС-4 (СССР), рис. 2, в	16×22	$1.0 \cdot 10^6$	1 : 12.7	» »	»
Камера Бриснера (США), рис. 2, г	12×14	$3.4 \cdot 10^6$	1 : 37	Турбина	»
Камера фирмы Бекман и Уитли (США), рис. 2, д	17×25	$1.4 \cdot 10^6$	1 : 26	—	»
УВЧКС (СССР), рис. 2, е	18×24	$4.0 \cdot 10^6$	1 : 12	Электро-двигатель	»
ФП-22 (СССР), рис. 2, ж	3.6×4.8	$1.0 \cdot 10^6$	1 : 12	То же	К камере

Впервые достаточно систематизированно и полно принцип построения растровых камер был изложен в 1944 г. Н. А. Валузом [36, 37]. Практически впервые в Советском Союзе растровая камера была изготовлена в 1953 г. [38, 39] в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Начиная с 1949 г. большое количество сообщений о применении растровых камер появляется в зарубежной периодической литературе.

Принцип построения растровых камер заключается в разложении при помощи растров оптического изображения объекта съемки на множество отдельных, определенным образом расположенных, элементов — полосок или кружков. При съемке это изображение смещается относительно светочувствительного материала таким образом, что каждая точка последнего экспонируется только один раз одним, вполне определенным элементом.

Для разложения оптического изображения наибольшее распространение получили линзовые точечные растры. В Советском Союзе линзовые растры изготавливаются по методу, предложенному С. П. Ивановым и А. Н. Андриевским [40, 41]. За границей линзовые растры для высокоскоростных камер изготавливаются фирмой «Фотосистемс Корпорейшн» (США).

Выдержка в растровых камерах определяется скоростью смещения растрового изображения относительно светочувствительного материала и размером элементов растрового изображения. Последние могут иметь предельно малую величину, поэтому в растровых камерах можно получить большую разрешающую способность во времени [6] даже при небольших скоростях смещения растрового изображения.

Съемка в растровых камерах должна производиться на малодеформируемом светочувствительном материале, поэтому наиболее распространены растровые камеры, рассчитанные на использование фотопластинок, хотя некоторое распространение получили и камеры, в которых используются пленки с безусадочной основой.

Практическое распространение получили пять вариантов построения растровых камер, которые представлены на рис. 3.

Большой интерес вызывают камеры с вращательным движением растра или светочувствительного материала. Этот способ позволяет изготавливать светосильные камеры ждущего типа, обеспечивающие большие величины разрешающей способности во времени (до $10 \cdot 10^6$ сек.⁻¹).

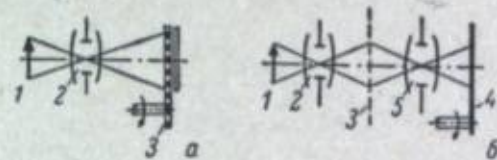
В камере Тетла [42] (рис. 3, а) решетчатый точечный растр расположен непосредственно перед фотопластинкой. Растр изготовлен в виде Архимеда. При съемке растр вращается с постоянной скоростью, обеспечивая смещение растрового изображения относительно фотопластинки.

В камере С. В. Кулагина [39] (рис. 3, б) съемка производится на фотопленке, изготовленной в виде диска. Разложение изображения достигается применением решетчатого линейного растра, который изображается на пленке промежуточным объективом.

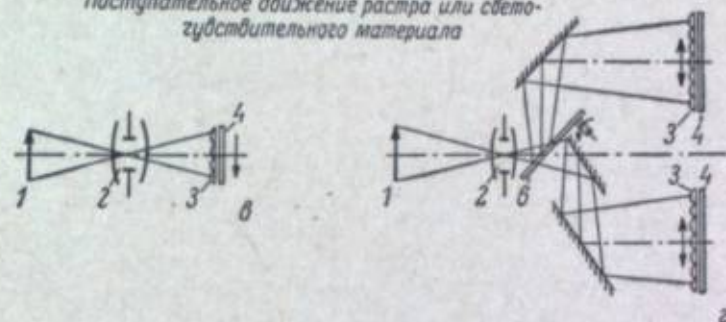
Большие возможности открывает вариант построения камеры с линзовым точечным растром, изготовленным в виде диска [43], однако создание такой камеры затруднено в связи со сложностью изготовления растра с расположением линз по спиралям Архимеда.

Сравнительно широкое распространение получили камеры с поступательным движением растра или фотопластинки. В камере ЛИКИ [44] (рис. 3, в) съемка производится перемещением фотопластинки. Пластика размером 9×12 см приводится в движение электродвигателем или

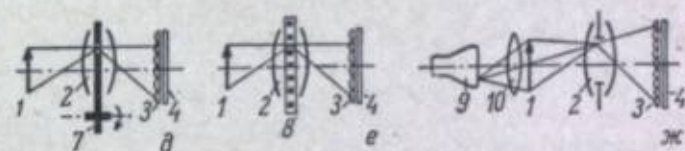
Вращательное движение растра или светочувствительного материала



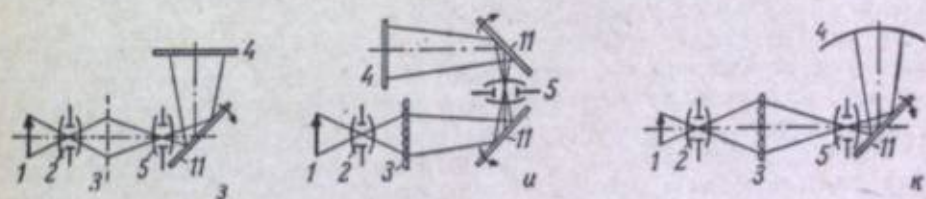
Поступательное движение растра или светочувствительного материала



Перемещение зрачков объектива



Зеркальная разбертка



Электронно-оптический преобразователь

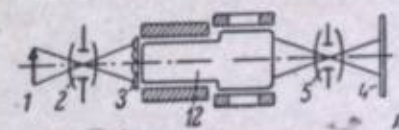


Рис. 3. Схемы растровых камер.

1 — объект съемки; 2 — съемочный объектив; 3 — растр; 4 — светочувствительный материал; 5 — промежуточный объектив; 6 — зеркальный обьектив; 7 — подвижная диафрагма (диск Ниппа); 8 — блок Глеба Керра; 9 — точечный источник света; 10 — коллектив; 11 — вращающееся зеркало; 12 — электронно-оптический преобразователь.

пружиной. В камере РКС-21, разработанной в ЛИКИ в 1967 г., для привода растра использован пневматический привод.

Кортней-Пратт использовал для создания камеры, предназначенной для микрокиносъемок смеху, приведенную на рис. 3, в [45]. В камере Брея [46] поступательное перемещение пластинки осуществляется соленоидом.

Камеры, построенные по схеме рис. 3, в требуют синхронизации с объектом съемки. В камере РКС-11 [43] смещение изображения достигается возвратно-поступательным движением линзовых точечных растров. Для обеспечения ждущего режима работы съемка производится на две фотопластинки размером 13×18 см (рис. 3, з). Изготовление камеры РКС-11 освоено Красногорским механическим заводом.

В камерах с линзовыми растрами возможно производить смещение растрового изображения перемещением зрачка съемочного объектива, поскольку элементы растрового изображения представляют собой изображения выходного зрачка объектива. В таких камерах съемочные объективы должны иметь большую апертуру.

В камере Кортней-Пратта [47] перемещение зрачка осуществляется при помощи устройства, содержащего диск Нипкова (рис. 3, д). Фотопластинка и растр в таких камерах установлены неподвижно.

В камере РКД [48] так же, как и в камере Кортней-Пратта, использован диск Нипкова, но в отличие от последней в камере РКД применен дополнительный диск, который перекрывает периодически зрачок объектива, обеспечивая не непрерывную, а кадровую съемку.

Камеры с диском Нипкова отличаются простотой конструкции и позволяют производить киносъемки в ждущем режиме, однако они вносят пространственный параллакс в последовательные кадры, вследствие чего эти камеры мало пригодны для макро- и микрокиносъемок, а также для использования совместно с теньевыми установками.

В камере Вэрда [49] (рис. 3, е) смещение изображения достигается батареей, состоящей из 12 ячеек Керра, установленных в плоскости действующей диафрагмы съемочного объектива. Последовательным включением ячеек Керра обеспечивается съемка 12 последовательных кадров с частотой до $5.0 \cdot 10^6$ кадр/сек.

Кортней-Пратт в одной из своих камер [47] смещение зрачка съемочного объектива осуществляет перемещением точечного источника света (рис. 3, ж). В качестве источника света используется электроннолучевая трубка, по экрану которой перемещается яркое светящееся пятно.

Очень большие скорости смещения растрового изображения можно получить в камерах с зеркальной разверткой. Камеры [50, 51] с решетчатыми линейными растрами и вращающимся зеркалом, расположенным за промежуточным объективом (рис. 3, з), получили распространение для исследования ударных волн, удара и детонаций, сопровождающих взрывные реакции. Частота киносъемки в этих камерах достигает $100.0 \cdot 10^6$ кадр/сек.

В камерах РКС-1, РКС-2 и РКС-2М [52, 53] смещение изображения производится двумя вращающимися зеркалами, расположенными симметрично промежуточному объективу (рис. 3, и). Вращающиеся зеркала образуют оптический ускоритель, который увеличивает скорость смещения изображения относительно фотопластинки. Частота киносъемки в камере РКС-2М достигает $500.0 \cdot 10^6$ кадр/сек. Изготовление камеры РКС-2М освоено Красногорским механическим заводом.

Существенным недостатком камер с зеркальной разверткой является необходимость очень точной синхронизации камеры с объектом съемки. Меньшая точность синхронизации требуется в камере СФР-Р [54], в которой съемка производится на фотоленке, расположенной по дуге окруж-

ности (рис. 3, к). Использование пленки допускает значительный разброс начала снимаемого процесса во времени, но усложняет эксплуатацию камеры и создает возможность деформации получаемого изображения.

Смещение растрового изображения возможно производить и с помощью электронно-оптического преобразователя (рис. 3, л). Такие камеры обеспечивают очень большие величины разрешающей способности во времени.

Из приведенного обзора следует, что хотя промышленностью и освоено производство растровых камер РКС-11 и РКС-2М, однако до настоящего времени в Советском Союзе растровые камеры серийно не выпускались.

Растровые камеры менее удобны в эксплуатации, чем камеры для кадровой съемки, поэтому серийно следует выпускать такие растровые камеры, которые обладают эксплуатационными показателями, недостижимыми камерами с кадровой съемкой. Такими показателями обладают камеры РКС-11 и РКС-21, которые имеют эквивалентное относительное отверстие до 1:4 при частоте киносъемки $150.0 \cdot 10^3$ и $2.0 \cdot 10^6$ кадр/сек. Такой светосилой при подобных частотах киносъемки не обладает ни одна из оптикомеханических моделей камер. Поэтому камеры типа РКС-11 и РКС-21 могут найти широкое распространение для исследований многих процессов.

Камера РКС-2М обеспечивает частоту киносъемки до $500.0 \cdot 10^6$ кадр/сек. Такая частота киносъемки пока не достигнута ни одной из известных камер для кадровой съемки. Камера РКС-2М должна найти применение для исследований очень быстропротекающих процессов, которые могут быть надежно синхронизированы с работой камеры, т. е. камеру РКС-2М следует считать специальной камерой.

Таблица 4

Технические показатели растровых камер

Аппарат	Растр	Частота киносъемки, кадр/сек.	Эквивалентное относительное отверстие	Оптическая емкость	Камера и способ синхронизации с объектом
Камера Тетла, рис. 3, а	Решетчатый, точечный	$1.0 \cdot 10^6$		100	Ждущая
Камера МВТУ им. Н. Э. Баумана, рис. 3, б	Линейный, решетчатый	$10.0 \cdot 10^6$	1:18	15	Ждущая
РКС-21, рис. 3, в	Линзовый, точечный	$2.0 \cdot 10^6$	1:4	300	К камере
РКС-11, рис. 3, з	То же	$15.0 \cdot 10^4$	1:4	300	Ждущая
Томпсон-800, рис. 3, д	» »	$25.0 \cdot 10^5$	1:6	300	То же
РКД, рис. 3, д	» »	—	1:4	300	» »
Камера Султанава (США), рис. 3, з	Линейный, решетчатый	$100.0 \cdot 10^6$	1:18	15	От камеры
РКС-2М, рис. 3, и	Линзовый, точечный	$500.0 \cdot 10^6$	1:18	100	То же
СФР-Р, рис. 3, к	То же	$100.0 \cdot 10^6$		100	» »

Камеры с диссекцией изображений

Принцип действия камер с диссекцией изображений заключается в том, что изображение расчленяется на множество элементов, которые оптической системой перемещаются в порядки, удобные для фотографи-

ческой регистрации на светочувствительном материале. После фотографической обработки фотоматериала производится синтез изображения объекта съемки, для чего обычно используется оптическая система камеры.

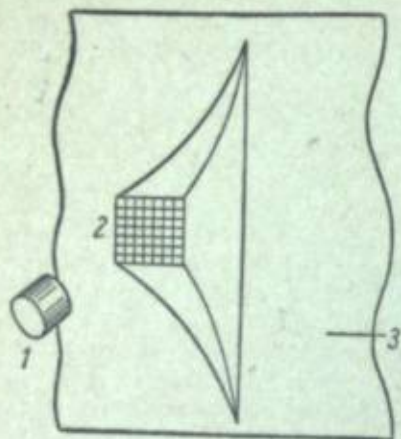


Рис. 4. Схема камеры с волоконной оптикой.

1 — съемочный объектив; 2 — жгут волоконной оптики; 3 — фотопластинка.

Были предложены несколько вариантов построения камер с диссекцией изображений [55, 56]. Некоторое распространение получили камеры с волоконной оптикой [57, 58]. Для построения камер используется жгут волоконной оптики, в котором входной торец имеет соотношение сторон, как у стандартного кинокадра, а на выходном торце волокна расположены в один ряд, как показано на рис. 4. Съемочный объектив 1 строит изображение на входном торце жгута 2. Если к выходному торцу вплотную расположить фотопластинку 3 и перемещать ее при съемке перпендикулярно линии, на которой расположены оси волокон, то на фотопластинке будут зафиксированы изменения объекта съемки во времени. Для воспроизведения (синтеза) полученного изображения используется тот же жгут волоконной оптики, который использовался при съемке. Негатив располагается у выходного торца жгута и освещается источником света, при этом на входном торце образуется изображение снятого объекта.

Камеры с волоконной оптикой не имеют существенных достоинств по сравнению с растровыми камерами, поэтому они распространены значительно меньше, чем растровые камеры.

Фоторегистраторы (табл. 5)

Фоторегистрация является предельным случаем непрерывной киносъемки, когда из оптического изображения объекта съемки выделяется лишь один элемент. В результате съемки на пленке получается регистрограмма, которую лишь условно можно назвать изображением объекта съемки. Если из изображения объекта съемки выделяется элемент в виде узкой полосы, то по регистрограмме можно судить о изменениях объекта съемки, происшедших только в одном направлении. Фоторегистрация получила сравнительно широкое распространение для исследования многих процессов.

На рис. 5 представлена схема выпускаемого серийно в Советском Союзе фоторегистратора СФР (он может работать также в режиме киносъемочной камеры). Промежуточный объектив 1 изображает щель 2 с наложенным на нее изображением объекта съемки на киноленту 3. Вращающееся зеркало 4 перемещает изображение щели по пленке. Фото-

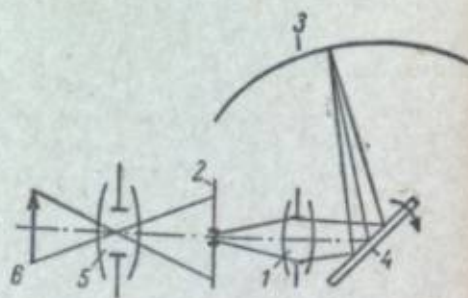


Рис. 5. Схема фоторегистратора СФР

1 — промежуточный объектив; 2 — механическая щель; 3 — фотопленка; 4 — вращающееся зеркало; 5 — съемочный объектив; 6 — объект съемки.

регистратор СФР не является регистратором ждущего типа. Ждущая развертка в фоторегистраторах может быть достигнута при использовании любой из схем ждущих камер с оптической коммутацией (рис. 2). Многие камеры, работающие по методу оптической коммутации, или растровые камеры имеют устройства, позволяющие использовать их для работы в режиме фоторегистратора. К таким камерам относятся камеры ЖЛВ, РКС-2М и некоторые другие.

Очень большие скорости смещения изображения щели могут быть достигнуты использованием электронно-оптического преобразователя. Теоретические соображения показывают [59], что эти приборы могут обеспечить разрешающую способность во времени до 10^{14} сек.⁻¹, причем в опытах по развертке свечения искровых разрядов была достигнута разрешающая способность во времени $0.3 \cdot 10^{12}$ сек.⁻¹ Электронно-оптические преобразователи позволяют производить фоторегистрирование объектов, имеющих малую яркость. Для этой цели наиболее подходящими являются многокаскадные преобразователи, имеющие большие значения коэффициента яркости [60].

Таблица 5

Технические показатели фоторегистраторов

Аппарат	Способ развертки	Скорость развертки, мм/милсек.	Эквивалентное относительное отверстие	Камера и способ синхронизации с объектом
СФР (СССР) [25]	Вращающееся зеркало	3.8	1 : 15	От камеры
ЖФР-1 (СССР) [64]	Вращающийся зеркальный барабан	3.8	1 : 22	Ждущая
ЖЛВ (СССР) [27]	Вращающиеся зеркала	5.0	1 : 20	»
ФР-30 (СССР) [16]	Вращающийся зеркальный барабан	18	1 : 50	»
РКС-2М (СССР) [53]	Оптический ускоритель из 2 зеркал	12.5	1 : 18	От камеры
Сверхскоростной фоторегистратор (США) [63]	Вращающееся зеркало с гелиевой турбиной	60	1 : 8	Ждущая
Светосильный фоторегистратор (Англия) [64]	Вращающееся зеркало	1.0	1 : 1	От камеры

Заключение

На основе проделанного обзора состояния техники высокоскоростной фотографии и кинематографии можно сделать вывод, что в Советском Союзе разработано и изготовлено много различных типов высокоскоростных камер, некоторые из них не уступают по своим показателям лучшим зарубежным образцам. Советские ученые выполнили ряд фундаментальных работ по изучению построения высокоскоростных аппаратов и предложили многие оригинальные схемы камер.

Однако в настоящее время в Советском Союзе выпускаются только четыре типа высокоскоростных камер, которые не могут удовлетворить современным требованиям, советских ученых, исследователей и производителей. Хотя в нашей стране исторически сложились коллективы ученых и конструкторов в ряде учреждений (Институт физики земли АН СССР, Ленинградский институт точной механики и оптики, Ленинградский институт инженеров), которые занимаются разработкой высокоскоростной аппаратуры, однако разработка аппаратуры в этих учреждениях носит эпизодический характер. До настоящего времени в стране нет специализированной лаборатории, которая ведала бы коорди-

нацией разработок и изготовления аппаратуры, не выпускаются специалисты по научной фотографии и кинематографии.

Для того чтобы составить перечень аппаратуры, которая должна выпускаться промышленностью, необходимо иметь статистические данные о потребности аппаратуры с определенными техническими показателями. Однако и сейчас можно на основе анализа современной техники высокоскоростной кинематографии наметить примерные пути развития аппаратуры для высокоскоростной киносъемки. Все виды аппаратуры следует разбить на универсальные и специальные. Первые должны выпускаться достаточно крупными сериями и снабжаться дополнительными принадлежностями для различных видов киносъемки (микро- и макрокиносъемок, устройствами для воздушных и подводных киносъемок, сменной съемочной оптикой и т. п.); вторые должны выпускаться мелкими сериями по мере поступления заявок от потребителей.

К универсальным аппаратам относятся следующие:

- 1) камеры с прерывистым движением киноплёнки с частотой съемки до 250—300 кадр/сек.;
- 2) камеры с оптической компенсацией для съемок на 35-мм пленке со стандартным кадром с частотой до 2000 кадр/сек и на 16-мм с частотой до 6000 кадр/сек.; камеры должны иметь устройства для деления площади кадра на части с целью повышения частоты киносъемки.
- 3) камеры с оптической коммутацией для съемок на 35-мм пленке со стандартным кадром с частотой до $100.0 \cdot 10^3$ кадр/сек и на 16-мм с частотой до $300.0 \cdot 10^3$ кадр/сек.; камеры имеют ждущий режим работы и эквивалентное отверстие не менее 1 : 10;
- 4) камеры с оптической коммутацией ждущего типа с использованием гелиевых турбин для съемок с частотой до $5.0 \cdot 10^3$ кадр/сек. с эквивалентным относительным отверстием не менее 1 : 18;
- 5) растровые светосильные ждущие камеры для съемок с частотой до $100.0 \cdot 10^3$ кадр/сек. при эквивалентном относительном отверстии 1 : 4;
- 6) растровые светосильные камеры для съемок с частотой до $2.0 \cdot 10^6$ кадр/сек. при эквивалентном относительном отверстии до 1 : 4.

Камеры с оптической коммутацией должны выпускаться с возможностью использования их для работы в режиме фоторегистраторов.

К специальным камерам следует отнести:

- 1) камеры с прерывистым движением киноплёнки для съемок на 70-мм киноплёнке с частотой до 150 кадр/сек.;
- 2) барабанные камеры для работы с импульсными источниками света и в режиме фоторегистраторов;
- 3) камеры с электронно-оптическими преобразователями для работы в режиме киносъемочной камеры и фоторегистратора;
- 4) растровые камеры с зеркальной разверткой для съемок с частотой до $500.0 \cdot 10^6$ кадр/сек.

Приведенный перечень аппаратуры может служить основой для серьезного и глубокого обсуждения необходимой аппаратуры, которую следует разрабатывать и внедрять в промышленность.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] W. D. Chesterman, The Photographic Study of Rapid Events. Oxford, 1951.
- [2] G. A. Jones, High-Speed Photography. London, 1952.
- [3] А. А. Сахаров, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1959, 4, 304.
- [4] M. Sultanoff, Proc. 2-th Intern. Congress on High-Speed Photography, Paris, 1956.
- [5] И. А. Черный, Опт.-мех. пром., 1956, 2, 64.
- [6] С. М. Проворнов, О. Ф. Гребенников, Усп. научн. fotogr., 1964, IX.

- [7] И. А. Черный, Л. Шмелькин, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1967, 3, 173.
- [8] С. Г. Гренишин, Ю. П. Щепеткин, Усп. научн. fotogr., 1964, IX, 12.
- [9] Г. Ф. Стааль, Кинофотопром., 1940, № 10, 26.
- [10] И. Б. Гордийчук, Советская киносъемочная аппаратура. Изд. «Искусство», М., 1966.
- [11] Сб. «Кинотехника», НИКФИ, М., 1963, № 6, 3.
- [12] А. А. Сахаров, Высокоскоростная киносъемка. Госкиноиздат, М., 1950.
- [13] E. E. Green, T. J. Obst, SMPE, 1949, 5, 515.
- [14] В. А. Матвеев, В. Н. Морозов, А. А. Солодовников, Опт.-мех. пром., 1958, 25, в. 3, 17.
- [15] С. В. Кулагин, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1959, 3, 215.
- [16] А. С. Дубовик, Фотографическая регистрация быстротекущих процессов. Изд. «Наука», М., 1964.
- [17] Г. Вейзе, Киносъемочная камера. ИЛ, М., 1958.
- [18] И. И. Крыжановский, Усп. научн. fotogr., 1959, VI, 139.
- [19] G. Pierschel, Bild und Ton, 1964, 11, 330.
- [20] А. С. Дубовик, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1959, 3, 226.
- [21] Г. Л. Шнирман, Усп. научн. fotogr., 1959, VI, 93.
- [22] А. С. Дубовик, Автореф. канд. дисс. НИКФИ, М., 1950.
- [23] А. С. Дубовик, Автореф. докт. дисс. НИКФИ, М., 1960.
- [24] А. Б. Гранинг, Автореф. канд. дисс. М., 1963.
- [25] В. Б. Ликоренко, Усп. научн. fotogr., 1959, VI, 131.
- [26] А. С. Дубовик, А. Б. Гранинг, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1962, 1, 36.
- [27] Г. Л. Шнирман, А. С. Дубовик, П. В. Кевлишвили, А. Б. Гранинг, И. А. Королев, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1963, 1, 50.
- [28] И. И. Крыжановский, Усп. научн. fotogr., 1964, IX, 17.
- [29] В. Вриггер, JSMPE, 1952, 59, 503.
- [30] M. C. Kurtz, JSMPE, 1959, 68, 16.
- [31] Г. А. Голостенов, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1956, 4, 286.
- [32] Л. А. Самуров, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1956, 4, 278.
- [33] Л. А. Самуров, Усп. научн. fotogr., 1959, VI, 121.
- [34] А. И. Салищев, Усп. научн. fotogr., 1959, VI, 155.
- [35] М. И. Пергамент, Ю. Е. Нестерихин, В. С. Комельков, Усп. научн. fotogr., 1964, IX, 64.
- [36] Н. А. Валюс, Автореф. докт. дисс. М., 1944.
- [37] Н. А. Валюс, Растровая оптика. ГИТТЛ, М., 1949.
- [38] С. В. Кулагин, Автореф. канд. дисс. М., 1955.
- [39] С. В. Кулагин, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1959, 3, 215.
- [40] С. П. Иванов, А. Н. Андриевский, Авт. свид. СССР 69194 и 69195 с приор. от 5 декабря 1942 г.
- [41] Л. В. Акимакина, М. Д. Бодрова, С. П. Иванов, Д. Ф. Ивченко, Усп. научн. fotogr., 1964, IX, 29.
- [42] F. E. Tuttle, J. SMPE, 1949, 11, 462.
- [43] С. М. Проворнов, О. Ф. Гребенников, В. П. Гусев, Техн. кино и телевид., 1961, 4, 55.
- [44] С. М. Проворнов, О. Ф. Гребенников, Техн. кино и телевид., 1957, 2, 36.
- [45] J. S. Courtney-Pratt, Proc. 2-nd Intern. Congr. High-Speed Photogr. and Cinematogr., Paris, 1956.
- [46] G. R. Brau, Proc. 2-nd Intern. Congress High-Speed Photogr. and Cinematogr. Paris, 1956.
- [47] J. S. Courtney-Pratt, J. Phot. Sci., 1953, 1, 21.
- [48] А. С. Дубовик, В. В. Гарнов, Н. М. Сидинская, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1966, 2, 111.
- [49] J. L. Viard, Prep. of Pap. third Intern. Congr. on High-Speed Photography, London, 1956.
- [50] M. Sultanoff, Rev. Sci. Inst., 1950, 7, 653.
- [51] T. Uyemura, Prep. of Pap. third. Intern. Congr. on High-Speed Photography, London, 1956.
- [52] С. М. Проворнов, О. Ф. Гребенников, Техн. кино и телевид., 1959, 2, 46.
- [53] С. М. Проворнов, О. Ф. Гребенников, В. П. Гусев, Усп. научн. fotogr., 1964, IX, 27.
- [54] А. С. Дубовик, Н. М. Сидинская, Г. В. Колесов, Журн. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 1963, 2, 128.
- [55] V. O'Brien, G. Milne, JSMPE, 1949, 1, 30.

- [56] Н. А. Валюс, Г. С. Арушанов, В. П. Генералова, Усп. научн. фотогр., 1964, IX, 33.
 [57] N. S. Karanu, J. SMPTE, 1962, 2, 75.
 [58] J. F. Fogkner, Phot. Sci and Eng., 1964, 1, 7.
 [59] М. М. Бутслов, Е. К. Завойский, А. Г. Плахов, Г. Е. Смоляки, С. Д. Фанченко, Усп. научн. фотогр., 1959, VI, 94.
 [60] В. Ф. Болотин, Б. А. Демидов, Е. К. Завойский, Ю. Ф. Скачков, Г. Е. Смоляки, С. Д. Фанченко, Усп. научн. фотогр., 1964, IX, 175.
 [61] А. С. Дубовик, А. И. Чурбаков, Опт.-мех. пром., 1959, 1, 47.
 [62] Б. Г. Белов. Ждущий фоторегистратор ЖФР-3. Изд. АН СССР, М., 1963.
 [63] T. Anderson, Proc. of the 5-th Intern. Congr. on High-Speed Photography, N. J., 1962.
 [64] J. Dyson, R. F. Hemmings, R. T. Waters, Proc. of the 5-th Intern. Congr. on High-Speed Photography, N. J., 1962.

РЕФЕРАТЫ

УДК 77 (091)

Очерк истории развития советской фотографической науки. Чибисов К. В., Гороховский Ю. Н. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 4—22.

Общий очерк истории отечественной фотографической науки за 50 лет Советской власти. Особое внимание уделено генезису и творческому развитию основных научных школ, коллективов научных институтов и высших учебных заведений в области научной фотографии и фотокино техники. В библиографии выборочно приведены данные о трудах советских ученых; детальным дополнением к ней служат библиографические списки к остальным статьям данного сборника. Изл.—29, библ.—104.

УДК 771.534+771.535

Природа фотографической чувствительности и образование скрытого фотографического изображения. Мейкляр П. В. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 23—39.

Обзор фундаментальных работ советских ученых по трем важнейшим разделам теории фотографического процесса на галогдосеребряных слоях: образование скрытого фотографического изображения, природа фотографической светочувствительности и механизм спектральной (оптической) сенсibilизации. Библ.—166.

УДК 77.021+771.581 : 771.533.3

Некоторые проблемы синтеза фотографических эмульсий. Протас Н. Р. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд. «Наука», Ленингр. отд., Л. 40—51.

Статья посвящена некоторым проблемам теории синтеза галогдосеребряных фотографических эмульсий, разрабатывавшимся отечественными исследователями. Особое внимание уделено структурным свойствам эмульсий и полученным из них светочувствительным слоям. Детально рассмотрены вопросы влияния различных

факторов (эмульсификации и физического созревания, химического созревания, оптической сенсibilизации и полива эмульсии) на разрешающую способность слоя. Изл.—14, библ.—43.

УДК 539.1.072 : 771.547

Фотографический метод в ядерной физике. Перфилов Н. А. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 52—66.

Обзор посвящен развитию созданного в СССР проф. Л. В. Мысовским, его учениками и продолжателями так называемого метода толстослойных пластинок, предназначенного для регистрации ядерных частиц и анализа ядерных реакций. Рассмотрены фотоэмульсии для ядерных исследований и аппаратура для просмотра и измерений. Табл.—1, изл.—9, библ.—39.

УДК 771.535 : 778.347

Природа фотографического действия ионизирующих частиц. Богомолов К. С. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л., 67—77.

В статье рассматриваются вопросы создания отечественных радиографических материалов, механизма радиографического процесса, фотографической обработки и количественных закономерностей; обсуждаются свойства скрытого изображения. Библ.—74.

УДК 771.534.21

Оптическая сенсibilизация фотографических эмульсий. Натансон С. В. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 78—98.

Статья посвящена работам советских ученых по механизму спектральной (оптической) сенсibilизации фотографических галогдосеребряных эмульсий, спектральному поглощению и фотографическим свойствам основных типов красителей — сенсibilизаторов. Библ.—213.

Химия специальных органических веществ в фотографических процессах. Левинов И. П. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 99—151.

Статья написана руководителем московской научной школы в области синтеза органических веществ, применяемых при изготовлении фотографических амюльсий для их химической и оптической сенсibilизации (при полиамульсионных слоях, при изготовлении многослойных цветофотографических материалов, для стабилизации фотографических свойств светочувствительных материалов при хранении, проявляющих веществ и т. д.). Приведена исчерпывающая библиография научных работ и патентов в данной области, принадлежащих отечественным авторам. Библ. — 1006.

УДК 77.023

Физическая химия фотографического проявления. Фаерман Г. П., Шеберстов В. И. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 152—164.

В статье руководителей ленинградской (Г. П. Фаерман) и московской (В. И. Шеберстов) научных школ в области фотографического проявления рассмотрены вопросы исследования функций компонентов в проявителе, электрохимическая теория проявления, вопросы кинетики черно-белого и цветного проявления. Библ. — 129.

УДК 77.023

Процессы обработки фотокиноматериалов. Бäumберг Н. Б., Кириллов Н. И. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 165—182.

В докладе представителей ленинградской (Н. Б. Бäumберг) и московской (Н. И. Кириллов) групп исследователей в области технологии химико-фотографической обработки светочувствительных галогеносеребряных материалов рассмотрены способы расчетов химико-технологических процессов; типы проявления; обработка цветных многослойных пленок; быстрая и однованная обработка и прямоточное проявление. Табл. — 2, илл. — 1, библ. — 187.

УДК 77.023 : 535.247.1+771.534.5

Фотографическая метрология. Горюховский Ю. Н. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 183—195.

Статья посвящена комплексу проблем количественной оценки многообразия свойств фотографических материалов и изображений на них. Основное внимание уделено определению дисциплины фотографической метрологии, советской системе сенситометрии, разработке новых методов классической сенситометрии, теории денситометрии и методам исследований зернистой структуры почернений, методам оценки тонкой структуры фотографического изображения. Библ. — 81.

УДК 772.53

Электрофотография. Гренинин С. Г. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 196—217.

В обзоре рассматриваются следующие вопросы: электрофотографические слои и их свойства; формирование электростатического изображения на слоях; визуализация (проявление) электростатического изображения; сенситометрия электрофотографического процесса; некоторые применения электрофотографии и электрофотографические приборы. Табл. — 5, илл. — 5, библ. — 160.

УДК 778.6

Цветная фотография и кинематография. Бонгард С. А., Чельцов В. С. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 218—243.

В статье рассмотрены история и перспективы развития как фотографии на многослойных материалах с цветным проявлением, так и гидротипного метода цветной кинематографии. Библ. — 250.

УДК 778.58+771.534.5

Теория фотографического цветовоспроизведения. Артюшин Л. Ф., Овечкине Н. С. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 244—256.

Первый в нашей литературе обзор советских исследований в области теории фотографического воспроизведения цветов. Рассмотрены методы цветоделительных и градационных испытаний, спектральных и колориметрических исследований и вопросы теории цветовой фотографической и кинотелевизионной коррекции. Внимание уделено психофизиологическому аспекту теории цветовоспроизведения и цветовой коррекции. Библ. — 71.

УДК 771.551

Фотографическая оптика. Вологов Д. С. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 257—264.

Краткий очерк истории советской фотографической съемочной оптики и перспектив дальнейшего ее развития. Илл. — 6, библ. — 11.

УДК 621.375.9

Голография в двухмерных и трехмерных средах. Денисюк Ю. Н., Суханов В. И. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 265—272.

Краткий обзор состояния метода голографии, одним из основных создателей которого был первый из авторов статьи. Особое место уделено регистрации объемных объектов при естественном освещении, методу голограммной интерференции и другим специализированным применениям этой новой области фотографической регистрации объектов, находящегося пока на начальной стадии своего развития. Илл. — 5, библ. — 22.

УДК 778.5

Научные проблемы кинотехники. Комар В. Г. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 273—286.

Статья посвящена основным путям развития кинотехники в СССР и анализу ее перспектив и возможностей. Рассмотрены вопросы повышения качества фотографического изображения и звука, улучшения передачи пространства и движения, расширения художественно-выразительных возможностей кинематографа и миниатюризации кинотехники. Библ. — 56.

УДК 778.37+778.534.83

Фотокиноаппаратура для исследования быстротекущих процессов. Гребеников О. Ф., Проворов С. М. Сб. «Успехи научной фотографии», т. 15, 1970. Изд-во «Наука», Ленингр. отд., Л. 287—306.

Обзор фото- и киноаппаратуры, применяемых для изучения быстротекущих процессов. Приведено описание аппаратуры для кадровой съемки (с прерывистым движением киноленты, с короткими выдержками, с оптической компенсацией и с коммутацией изображений) и для непрерывной съемки (растровые камеры, камеры с диссекцией изображений и фоторегистраторы). Табл. — 4, илл. — 5, библ. — 64.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

В МАГАЗИНАХ КОНТОРЫ «АКАДЕМКНИГА»
ИМЕЮТСЯ В НАЛИЧИИ КНИГИ:

УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Том 2. Научно-технические вопросы цветной фотографии и кинематографии. Фотографическая запись звука. Из истории отечественной фотографической науки и техники. 1954. 252 стр. Цена 1 р. 39 к.

Том 6. Труды Совещания по высокоскоростной фотографии и кинематографии. 1959. 223 стр. Цена 1 р. 70 к.

Том 7. Природа фотографической чувствительности. Изготовление галоидо-серебряных фотографических слоев. Оптическая сенсibilизация и гиперсенсibilизация. Химико-фотографическая обработка светочувствительных слоев. 1960. 260 стр. Цена 1 р. 42 к.

Том 8. Цветная фотография и кинематография. Фотографическая сенситометрия. 1962. 280 стр. Цена 1 р. 69 к.

Том 9. Высокоскоростная фотография и кинематография. 1965. 348 стр. Цена 1 р. 73 к.

Том 10. Качество фотографического изображения. 1964. 268 стр. Цена 1 р. 52 к.

Том 11. Химия фотографических эмульсий. Структурные свойства фотографических слоев. 1966. 231 стр. Цена 1 р. 33 к.

Том 12. Ядерная фотография. 1966. 163 стр. Цена 90 к.

Том 13. Химико-фотографическая обработка фотокиноматериалов. 1968. Цена 1 р. 80 к.

Ядерная фотография. (Труды Третьего Международного совещания. Москва, июль, 1960 г.). 1962. 475 стр. Цена 2 р. 58 к.

Ваши заказы просим направлять по адресу:

Москва, В-463, Мичуринский пр., 12,
магазин «Книга — почтой» Центральной конторы «Академкнига»

Ленинград, П-110, Петрозаводская ул., дом № 7,
магазин «Книга — почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига»

