

17-1336  
12

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

---

УСПЕХИ  
НАУЧНОЙ  
ФОТОГРАФИИ

XII

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

А К А Д Е М И Я   Н А У К   С С С Р

ОТДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

КОМИССИЯ ПО ХИМИИ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

# УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ

Том XII

ЯДЕРНАЯ ФОТОГРАФИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
Москва · 1966 · Ленинград

278533

Писать разборчиво

Шифр

...

П-1336

12

Автор

Успехи науч.  
н.о.и. фото.  
хим.

278533



## Редакционная коллегия:

докт. физ.-мат. наук *К. С. Богомолов*, канд. техн. наук *Я. М. Беприк*, докт. хим. наук  
*Ю. Н. Гороховский*, канд. физ.-мат. наук *А. Л. Картужанский* (отв. редактор), доктор  
 хим. наук *К. С. Ляликов*, докт. физ.-мат. наук *Н. А. Перфилов*, член-корр. АН СССР  
*К. В. Чибисов*.

1-я ТИПОГРАФИЯ  
 ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»  
 Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

## КОНТРОЛЕР № 2

При обнаружении недостатков в книге  
 просим вернуть книгу вместе  
 с этим ярлыком для обмена

278533

Центральная научная  
 БИБЛИОТЕКА  
 Академии наук Кировской ССР

## ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящий том «Успехов научной фотографии» посвящен проблеме регистрации ядерных частиц с помощью специальных фотографических эмульсий.

Метод ядерных фотографических эмульсий, зародившийся в нашей стране 40 лет тому назад, в настоящее время стал одним из основных экспериментальных методов ядерной физики, с помощью которого сделан ряд научных открытий первостепенного значения, в частности в физике элементарных частиц. Вместе с тем развитие метода ядерных эмульсий поставило ряд совершенно новых задач перед фотографической наукой, потребовало от нее изменения традиционных приемов синтеза эмульсий и обработки эмульсионных слоев и оказало существенное влияние на теорию и технологию процессов, применяемых в обычной фотографии. Кроме того, впервые в истории фотографической науки объектом ее исследования оказались результаты не усредненного макроскопического действия излучения на огромную совокупность эмульсионных кристаллов, а индивидуального действия частицы на отдельные кристаллы, что всегда считалось идеальным объектом, весьма трудно осуществимым в условиях обычной фотографии. Наконец, не следует недооценивать и то влияние, которое метод ядерных эмульсий оказал на развитие микроскопии: просмотр и измерение следов частиц в проявленных слоях ядерных эмульсий потребовали создания микроскопов, принципиально новых не только по своим оптическим характеристикам, но и по степени оснащения автоматикой, электроникой и даже счетно-решающей техникой.

Развитие метода ядерных фотографических эмульсий как в нашей стране, так и за рубежом, привело к необходимости периодических научных собраний для обсуждения состояния и перспектив этого метода. В международном масштабе уже почти 10 лет проводятся конференции по ядерной фотографии (до настоящего времени их прошло 5); несколько раз собирались также совещания ученых СССР и социалистических стран, входящих в Объединенный институт ядерных исследований в Дубне. Осенью 1964 г. (с 30 сентября по 3 октября) в Ленинграде прошло очередное шестнадцатое Совещание по научной фотографии, целиком посвященное ядерной фотографии. Материалы этого совещания и составили основу данного сборника; в который затем были включены также некоторые статьи, по тематике относящиеся к тому же кругу вопросов; в оглавлении эти статьи отмечены звездочкой.

Разумеется, работы, входящие в этот том «Успехов научной фотографии», не исчерпывают всего многообразия теоретических и практических вопросов метода ядерных эмульсий. Однако и то, что представлено в данном сборнике, дает представление о широте фотографических и иных проблем, стоящих перед ядерной фотографией, и о состоянии этих проблем в настоящее время. Вместе с тем сборник дает представление о состоянии



работ по ядерной фотографии в нашей стране, которая является не только ведущей страной в этой области, но и родиной ядерной фотографии. В этой связи особо следует указать на выдающуюся роль, которую сыграл в становлении и развитии ядерной фотографии один из ее основоположников, сотрудник Радиового института в Ленинграде профессор Лев Владимирович Мысовский (1888—1939). Именно ему принадлежит идея увеличить тормозное действие эмульсионного слоя за счет увеличения его толщины, что и привело в 1927 г. к созданию первых толстослойных ядерных фотопластинок. Под его руководством был сделан и следующий шаг в создании специальных ядерных эмульсий — переход к высококонцентрированным и мелкодисперсным эмульсиям. Преждевременная смерть помешала Л. В. Мысовскому осуществить многие другие идеи в области ядерной фотографии, но дружной работой большого коллектива советских ученых, среди которых многие (в первую очередь А. П. Жданов) являются учениками Л. В. Мысовского, начатое им дело успешно продолжается и развивается. Поэтому данный том может рассматриваться и как известный итог сделанного в нашей стране в развитие идей Л. В. Мысовского.

## І. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И СВОЙСТВА ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ

И. Р. НОВИКОВА, В. Н. ЗАХАРОВ, Е. В. ФАДИНА

### ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Часть I

СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЕ ЖЕЛАТИНЫ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАЛЯМИ

Введение

В последние годы непрерывно возрастает интерес к изысканию и применению синтетических веществ для фотоэмульсионных слоев. Синтетические полимеры используются при синтезе эмульсии [1] для полной или частичной замены желатины и в качестве коагулирующего средства. Изыскание синтетических полимеров-заменителей желатины в основном обусловлено недостаточно высокими физико-механическими свойствами желатиновых слоев. Эти недостатки усугубляются с увеличением толщины слоя и оказываются весьма существенными для ядерных фотослоев. В процессе обработки таких слоев происходят значительные деформации, которые приводят к искажению следов заряженных частиц.

В качестве заменителей желатины в фотографических эмульсиях наиболее часто применяют поливиниловый спирт (ПВС) и его производные. В частности, ПВС был использован Демерсом [2] для полной замены желатины и В. М. Уваровой с сотрудниками [3] для частичной замены желатины в ядерных эмульсиях. Однако ПВС имеет недостатки — плохо совмещается с желатиной и образует гетерогенный раствор, неспособный к студению. Поэтому в практике синтеза светочувствительных материалов в настоящее время используют производные ПВС, например поливинилацетата, поливинилпирролидон, а также ряд других соединений [1].

Замена ПВС поливинилацетатами приводит к полной совместимости синтетического полимера с желатиной. Из исследований Б. А. Царева и его сотрудников [4] следует, что из множества синтезированных ими полимеров лучшими для частичной замены желатины в фотографических эмульсиях оказались поливинилацетаты 2,4-дисульфокислоты бензальдегида (ПВА).

Авторы синтезировали ПВА с различной вязкостью и степенью замещения гидроксильных групп альдегидом. Они обнаружили, что оптимальными свойствами обладают ПВА, полученные из низковязкого ПВС ( $\eta = 7-9$  сп), со степенью замещения гидроксильных групп не менее 10%.

Учитывая преимущества ПВА перед другими синтетическими полимерами, мы использовали их для частичной замены желатины в мелко-



зернистой ядерной эмульсии ПР-2 и произвели исследование физико-механических и регистрационных свойств изготовленных из нее фотослоев.

Используемые в настоящей работе ПВА были синтезированы в ЛИКИ Б. А. Царевым, Л. М. Зайцевой и Р. М. Саевич и любезно предоставлены нам для исследований.

#### Методика исследования

Раствор ПВА вводился в готовую эмульсию типа ПР-2 непосредственно перед поливом в количестве 50% от веса желатины в эмульсии. Применялись 20-процентные водные растворы ПВА, изготовленные из ПВС с различной вязкостью. Свойства указанных полимеров представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства поливинилацетатей 2,4-дисульфокислоты бензальдегида, используемых в работе

Тип ПВА	Вязкость исходного ПВС	Вязкость 5% водного раствора ПВА, сВ	Апектальное число, %	Количество замещенных гидроксильных групп, %	Количество гидроксильных групп, %
ПВА-I	8	15.6	—	10	90
ПВА-II	18	17.7	34.4	12.3	87.7
ПВА-III	28	30.4	37.4	14	86
ПВА-IV	57.7	34.0	32	11.4	88.6

Из нее изготавливались бесподложечные слои толщиной 400 мк.

Далее исследовались их регистрационные свойства и физико-механические характеристики: предельная прочность слоев на разрыв, эластичность, набухаемость слоев в буферных растворах с различными рН и в процессе их фотографической обработки. Последняя характеристика особенно существенна, так как деформация слоя, приводящие к искажениям следов частиц, зависят от степени набухания слоя в процессе его обработки.

#### Результаты опытов

При введении ПВА в эмульсию обнаруживается значительное увеличение его вязкости. ПВА-I заметно отличается от остальных тем, что при его введении происходит примерно аддитивное изменение вязкости в эмульсии, в то время как для ПВА-II, III и IV степень неаддитивности примерно одинакова и превышает 300%. Факт неаддитивного изменения вязкости свидетельствует о химическом взаимодействии между ПВА и желатиной в водном растворе с образованием комплекса желатина-ПВА [5].

На рис. 1 и 2 представлены результаты исследования набухаемости в растворах с различными рН желатиновых и полимер-желатиновых фотослоев, задубленных глицералем (рис. 1) и хромацетатом (рис. 2).

Время набухания слоев выбрано равным 135 мин., что примерно соответствует длительности отдельной стадии при обработке фотослоев. Из рис. 1 и 2 видно, что характер весового набухания полимер-желатиновых слоев резко отличается от характера набухания желатиновых слоев. Последние в наибольшей степени набухают в кислой области (кривая 1), для полимер-желатиновых наблюдается снижение набухания в кислой области и резкое возрастание в нейтральной (кри-

вые 2 и 3). Характер набухания при различных рН среды не зависит от дубителя (рис. 1 и 2) и степени задубливания (рис. 1, кривая 2 и 3). Снижение степени набухания полимер-желатиновых слоев в кислой области, по-видимому, связано с блокированием аминогрупп желатины сильно диссоциированными сульфогруппами ПВА.

Повышенная набухаемость в нейтральной и щелочной средах обусловлена тем, что в этой области рН взаимодействие между молекулами ПВА и желатиной ослаблено из-за наличия у них отрицательного заряда, вследствие чего набухание слоя происходит в соответствии с растворимостью каждого из двух компонентов.

На рис. 3 представлены кривые набухания фотослоев по толщине в процессе их обработки.

Проявление производилось в проявителе ID-19 по методике, разработанной нами ранее для бесподложечных фотослоев толщиной 400 мк эмульсии типа ПР-2 [6].

Из рис. 3 видно, что желатиновые слои (кривые 1, 2) подвержены набуханию в более сильной степени, чем слои, часть желатины в которых замещена ПВА (кривые 3, 4). Введение в эмульсию низковязкого полимера снижает степень набухания слоя по толщине примерно в 1.5 раза, а введение полимера с высокой вязкостью — в 3 раза по сравнению с желатиновыми слоями.

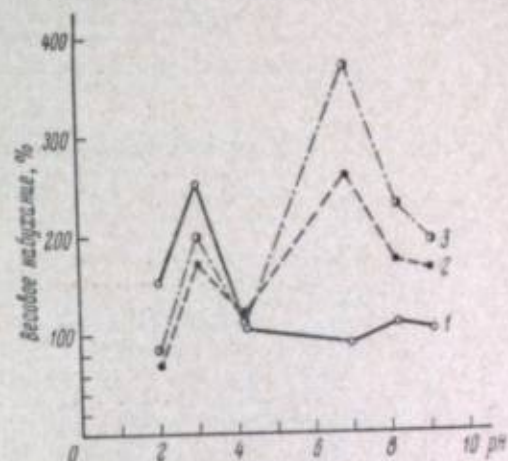


Рис. 1. Весовое набухание желатинового и полимер-желатинового эмульсионных слоев, задубленных глицералем.

1 — желатиновый эмульсионный слой. Количество глицерала 20 мл/л эмульсии; 2 — эмульсионный слой с 33-процентным замещением желатины тем же поливинилацетатем. Количество глицерала 60 мл/л эмульсии; 3 — эмульсионный слой с 33-процентным замещением желатины поливинилацетатем 2,4-дисульфобензальдегида низкой вязкости (полимер 1). Количество глицерала 20 мл/л.

а введение полимера с высокой вязкостью — в 3 раза по сравнению с желатиновыми слоями.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие изменение линейных размеров слоев в процессе их обработки.

Из данных табл. 2 видно, что при обработке слоя в ненаклеенном состоянии наибольшему линейному набуханию подвержены желатиновые слои, задубленные глицералем, и слои, часть желатины которых замещается ПВА низкой вязкости. Слои, содержащие ПВА высокой вязкости, и желатиновые слои, задубленные хромацетатом, мало изменяют линейные размеры. Сравнение коэффициентов анизотропии  $A$  (частное от деления относительного набухания по толщине на относительное набу-

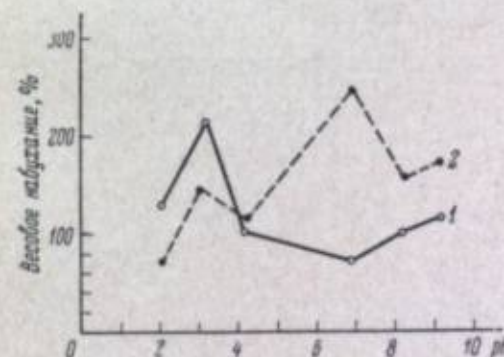


Рис. 2. Весовое набухание желатинового и полимер-желатинового эмульсионных слоев, задубленных хромацетатом.

1 — желатиновый эмульсионный слой. Количество хромацетата 35 г/л; 2 — эмульсионный слой с 33-процентным замещением желатины поливинилацетатем 2,4-дисульфобензальдегида низкой вязкости (полимер 1). Количество хромацетата 35 г/л.

хание по длине) показало, что макромолекулы желатины в слоях, задубленных хромацетатом, имеют менее равновесную структуру, чем макромолекулы желатиновых и полимер-желатиновых слоев, задубленных глицералем.



Таблица 2

Изменение линейных размеров желатиновых и полимер-желатиновых бесподложечных слоев в процессе их обработки

Эмульсионный слой	Линейное набухание слоя после промывки, %	Коэффициент аннотации	Величина тепловой усадки, %	
			линейная	по толщине
Желатиновый слой, дубитель хромацетат . . . . .	13.3	3.9	-4.5	+6.2
Желатиновый слой, дубитель глицераль 20 мл/л	46.6	2.9	-4.2	+10.1
Полимер-желатиновый слой (I), дубитель глицераль 20 мл/л . . . . .	33.3	2.28	-3.5	+9.8
Полимер-желатиновый слой (IV), дубитель глицераль 20 мл/л . . . . .	13.3	2.04	-3.9	+7.3

лем, хотя сама степень неравновесности для того и другого типа слоев незначительна независимо от дубителя. Это следует из данных той же таблицы, где приведены величины тепловой усадки слоев, также позволяющие судить

Таблица 3

Характеристики механических свойств желатиновых и полимер-желатиновых бесподложечных эмульсионных слоев

Эмульсионные слои	Прочность на разрыв $R_p$ , $\frac{нг}{мм^2}$	Модуль Юнга E, $\frac{нг}{мм^2}$	Эластичность $\alpha = \frac{1}{E} \cdot \frac{нг}{мм^2}$	Абсолютная влажность (в % к весу сухого слоя)
Желатиновые слои, дубитель хромацетат . . . . .	2.6	30	0.033	2.9
Желатиновые слои, дубитель глицераль 20 мл/л	2.7	31	0.032	3.2
Полимер-желатиновые слои (I), дубитель глицераль 20 мл/л . . . . .	2.5	13.7	0.073	2.0
Полимер-желатиновые слои (IV), дубитель глицераль 20 мл/л . . . . .	2.3	12.7	0.079	2.3

о равновесности или неравновесности структуры слоя. Тепловая усадка определялась после прогрева слоев в течение 3 суток при 36° С и при 100% относительной влажности [3].

В табл. 3 приведены данные о механических свойствах эмульсионных фотослоев, полученные с помощью динамометра Шопнера.

Из табл. 3 следует, что разрывные прочности желатиновых и полимер-желатиновых слоев приблизительно одинаковы, однако полимер-желатиновые слои более чем в 3 раза эластичнее желатиновых. Это делает слои, содержащие ПВА, предпочтительнее по сравнению с чисто желатиновыми при экспонировании слоя в вакууме, когда вследствие резкого уменьшения влажности слоя модуль Юнга возрастает в десятки раз и слои становятся

Таблица 4

Регистрационные свойства желатиновых и полимер-желатиновых слоев

Регистрационные свойства	Желатиновый эмульсионный слой		Полимер-желатиновый эмульсионный слой (I)	
	негиперсенситизированный	гиперсенситизированный в 6-процентном ТЭА	негиперсенситизированный	гиперсенситизированный в 6-процентном ТЭА
$S_p$ (1/100 мк) — плотность зерен в следах релятивистских электронов . . . . .	29.0±1.7	47.0±2.2	31.6±1.8	48.0±2.2
Вуаль $N_\phi$ ( $1/10^{-9}$ см <sup>3</sup> ) . . . . .	2.0±0.5	4.2±0.6	3.4±0.6	4.9±0.7

хрупкими, что при длительном пребывании в вакууме может вызвать разрушение слоев (на твердой подложке).

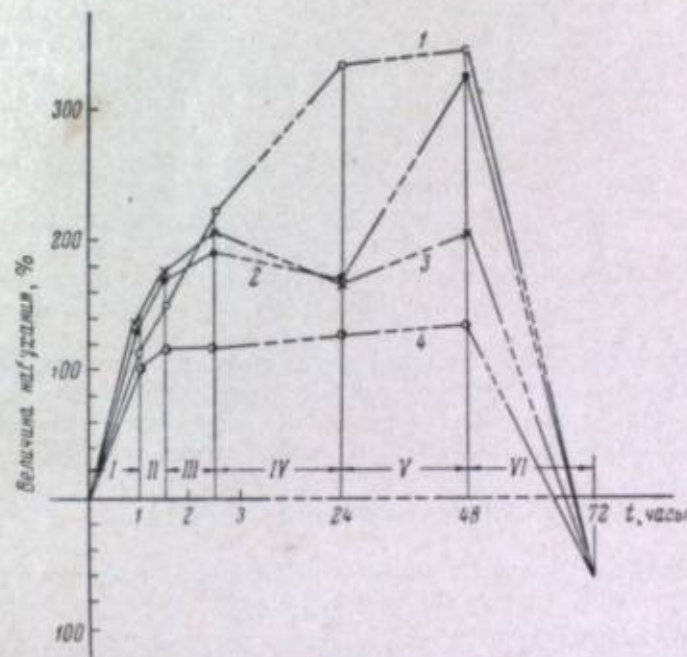


Рис. 3. Величина набухания по толщине желатиновых и полимер-желатиновых эмульсионных бесподложечных фотослоев толщиной 400 мк.

1 — желатиновый эмульсионный слой, задубленный хромацетатом (35 г/л); 2 — желатиновый эмульсионный слой, задубленный глицералем (20 г/л); 3 — эмульсионный слой, часть желатины в котором замещена поливинилацетатом низкой вязкости (I). Количество глицерала 20 г/л; 4 — эмульсионный слой, часть желатины в котором замещена поливинилацетатом высокой вязкости (IV). Количество глицерала 20 г/л.

В табл. 4 представлены регистрационные свойства желатиновых эмульсионных слоев в сравнении с полимер-желатиновыми.

Из данных табл. 4 следует, что содержащаяся в ядерной эмульсии натриевая соль поливинилацетата 2,4-дисульфобензальдегида не оказывает влияния на вуаль и чувствительность слоя к заряженным частицам.



КОАГУЛЯЦИЯ ЯДЕРНОЙ МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ ЭМУЛЬСИИ  
СИНТЕТИЧЕСКИМ ПОЛИМЕРОМ

## Введение

При частичной замене желатинны поливинилацетатом 2,4-дисульфо-бензальдегида в готовой сенсibilизированной золотом эмульсии ПР-2 [7] было обнаружено, что при введении небольших количеств полимера, примерно 10% от веса желатинны, система становится коллоидно неустойчивой. При  $pH < 4.5$  и некотором определенном соотношении между желатинной и полимером происходит практически полное выпадение в осадок  $AgHal$ , полимера и желатинны (до 97—98%). В связи с этим возникла мысль использовать указанный эффект для концентрирования эмульсии и удаления растворимых солей с целью устранения стадии промывки застуженного геля. Поли концентрированных эмульсий и устранение непроизводительного процесса промывки позволяет существенно сократить (примерно в 2 раза) продолжительность технологического цикла изготовления эмульсии. Уже во время проведения работы в печати появилась статья Д. А. Душейко, Н. А. Петровой и Ю. Б. Виленского [5], а в сентябре 1963 г. на Втором совещании по химии фотографических эмульсий в Казани теми же авторами совместно с С. А. Донской и З. Я. Шевченко [8] был представлен доклад о практическом использовании эффекта совместной коагуляции желатинны и поливинилацетата для отделения твердой фазы при синтезе светочувствительных фотоэмульсий.

Однако методика, изложенная в этом докладе, не могла быть использована при изготовлении высокочувствительных ядерных эмульсий, так как после пептизации осадка не обеспечивается коллоидная устойчивость эмульсии в кислой среде, необходимой для эффективной сенсibilизации золотом.

Цель настоящей работы заключалась в подборе оптимальных условий коагуляции мелкозернистой ядерной эмульсии, промывки и пептизации осадка, а также в изучении возможности создания после пептизации системы, коллоидно устойчивой при любых значениях  $pH$ .

## Экспериментальная часть

а. Влияние желатинны и  $KNO_3$  на пептизацию коагулята

После эмульсификации мелкозернистая ядерная эмульсия ПР-2 разбавлялась в 2 раза дистиллированной водой, затем в нее вводилась кислота до получения значения  $pH = 4.2$  и производилось осаждение  $AgHal$  и желатинны добавлением поливинилацетата. Без разбавления водой коагуляция не происходит; как мы установили, это обусловлено наличием большого количества  $KNO_3$  (69 г/л) в эмульсиях данного типа после их эмульсификации.

Наиболее полное осаждение смеси (98% по весу) было получено нами при отношении  $\frac{\text{желатинна}}{\text{полимер}} = 9:1$ , вместо величины 3:1, полученной в работе [8]. Такая разница отношений довольно значительна и, по-видимому, объясняется различием в степени ацеталирования гидроксильных групп поливинилацетата (в указанной выше работе 18.2%, у нас 10%), а также использованием различных сортов желатинны. После промывки от избытка растворимых солей и постепенного добавления щелочи осадок удаётся перевести в раствор при  $pH \approx 6.5 \div 7$ .

Естественно было предположить, что если после промывки осадка увеличить отношение  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}}$  путем добавления определенных количеств желатинны, пептизация может наступить при более низком значении  $pH$ . Также можно было ожидать, что на эффективность пептизации осадка щелочью может влиять  $KNO_3$ , который всегда остается в небольших количествах после промывки эмульсии. Основанием для этого предположения является его влияние на обратный процесс — коагуляцию.

Для выяснения возможности получения устойчивой в кислой области коллоидной системы после пептизации осадка было исследовано влияние

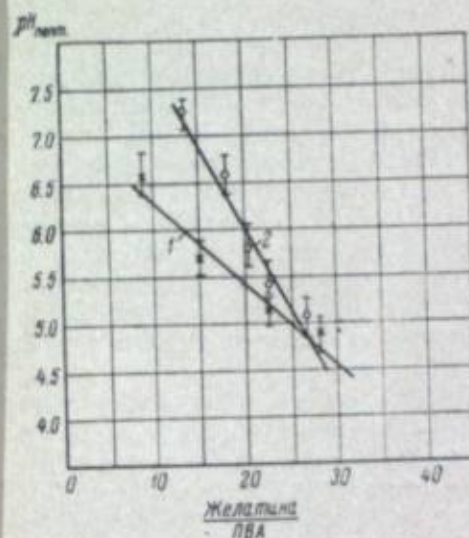


Рис. 4. Зависимость  $pH$  пептизации коагулята эмульсии ПР-2 5%  $Na_2CO_3$  от отношения  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}}$  при пептизации.

$pAg = 9.5$ ;  $C_{KNO_3} = 1.5$  г/л. При эмульсификации присутствует: 1 — 100% общего количества желатинны, 2 — 33% общего количества желатинны.

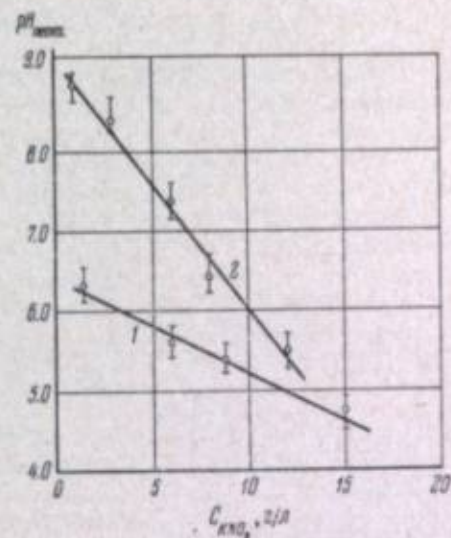


Рис. 5. Зависимость  $pH$  пептизации коагулята эмульсии ПР-2 5%  $Na_2CO_3$  от содержания в нем  $KNO_3$ .

$pAg = 9.5$ ; 1 —  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}} = 9$  (три промывки раствором 0.1 г/л  $KBr$ , 1.5 г/л  $NO_3$ ); 2 —  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}} = 18$  (шесть промывок раствором 0.1 г/л  $KBr$ ).

увеличения отношения  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}}$  и концентрации на эффективность пептизации осадка щелочью. Первое достигалось добавлением определенных количеств желатинны после промывки осадка, второе осуществлялось введением различных объемов 10-процентного раствора  $KNO_3$  в коагулят, предварительно промытый от солей раствором с известным содержанием  $KNO_3$  и  $KBr$  (1.5 г/л  $KNO_3$  0.10 г/л  $KBr$ ).

На рис. 4 (кривая 1) представлены результаты исследования влияния желатинны на эффективность пептизации коагулята эмульсии ПР-2 щелочью. Концентрации  $KNO_3$  и  $KBr$  в коагулятах с различными отношениями  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}}$  были постоянными и соответствовали концентрациям, существующим в эмульсии ПР-2 после ее обычной промывки. Из рис. 4 видно, что эффективность пептизации осадка щелочью с добавлением желатинны увеличивается, а  $pH$  пептизации монотонно убывает от 6.6 для отношения  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}} = 9:1$  (желатинна не добавляется) до  $pH = 4.9$  для отношения  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}} = 28:1$  (210% добавленной желатинны по весу).



На рис. 5 представлены результаты исследования влияния  $KNO_3$  на эффективность пептизации коагулята эмульсии ПР-2 щелочью. Кривая 1 характеризует пептизацию коагулята эмульсии при различных концентрациях  $KNO_3$  без добавления желатинны. Кривая 2 соответствует случаю более продолжительной промывки коагулята, чем в первом случае, в который затем добавлялось 100% желатинны и различные количества  $KNO_3$ . Из рис. 5 видно, что с увеличением содержания  $KNO_3$  величина рН пептизации уменьшается, а сам эффект соизмерим с эффектом, полученным при введении в коагулят желатинны.

### б. Старение осадка

Необходимо отметить склонность коагулята фотоэмульсии к довольно быстрому старению, которое происходит уже во время промывки коагулята и проявляется в увеличении рН пептизации. Старение коагулята происходит тем быстрее, чем меньше содержится в нем  $KNO_3$  и  $KBr$ . При длительном выстаивании осадка (5 часов) старение приводит к его необратимой коагуляции даже в присутствии значительных количеств  $KNO_3$  и  $KBr$ . Эффект старения осадка иллюстрируется сравнением кривых 1 и 2 (рис. 5).

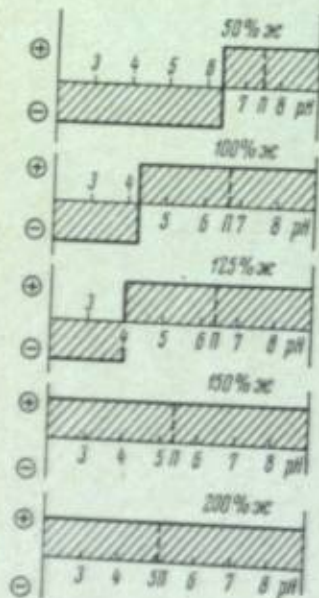


Рис. 6. Зависимость рН пептизации и рН обратной коагуляции осадка ПР-2 (33% желатинны при эмульсификации) от количества введенной перед пептизацией желатинны.

$C_{KNO_3} = 1,5$  г/л;  $pAg = 9,5$ ;  $n$  — точная пептизация; плюс — область коллоидной устойчивости системы после пептизации осадка; минус — область коллоидной неустойчивости системы.

отношением  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}}$  и старением осадка и слабо зависит от отношения  $\frac{\text{желатинна} + \text{ПВА}}{\text{AgHal}}$ , то полученная таким образом эмульсия должна быть устойчивой при рН ~ 5.

Действительно, уменьшение в три раза желатинны при эмульсификации, а также специально подобранный режим промывки, исключая возможность заметного старения его в этой стадии, позволили получить устойчивую эмульсию при рН=5 (рис. 4, кривая 2). Более того, оказа-

### в. Уменьшение желатинны при эмульсификации и эффект необратимой пептизации

Из рассмотренных выше результатов следует, что устойчивую коллоидную систему при рН ~ 5 и приемлемых концентрациях  $KNO_3$  удастся достичь лишь при величине отношения  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}} = 27:1$ , т. е. при трехкратном раз-

бавлении эмульсии желатинной. Так как при оптимальной коагуляции отношение количеств желатинны и ПВА не зависит от их концентраций, то, как показывает простой расчет, получить отношение  $\frac{\text{желатинна}}{\text{ПВА}} = 27:1$  при нормальной концентрации  $AgHal$  в готовой эмульсии можно путем уменьшения в три раза количества желатинны при эмульсификации с последующим после коагуляции и промывки осадка добавлением ее до требуемого содержания. Если предположить, что рН пептизации в основном определ-

лось, что после пептизации осадка щелочью полученная эмульсия не коагулирует при добавлении кислоты, как это было раньше, т. е. пептизация в этом случае оказывается необратимой. Эффект необратимой пептизации не исчезает и при старении осадка — важно лишь, чтобы старе-

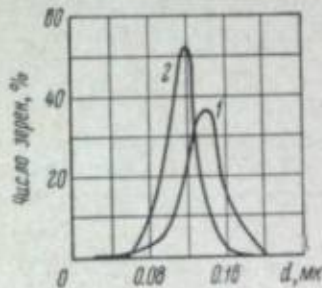


Рис. 7. Кривые распределения микрокристаллов по размерам эмульсий типа ПР-2.

1 — № 131 (100% желатинны при эмульсификации, промывка в червяках); 2 — № 145 (33% желатинны при эмульсификации, коагуляция ПВА).

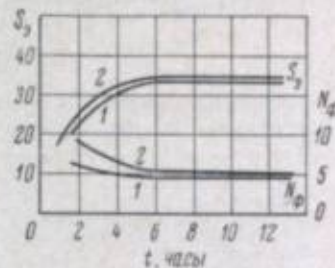


Рис. 8. Изменение чувствительности к релятивистским электронам ( $S_p$ ) и фона вуали ( $N_p$ ) от времени второго созревания эмульсии ПР-2.

1 — коагуляция ПВА; 2 — контрольная эмульсия; концентрация  $HAuCl_4 \cdot 4H_2O = 0,324 \times 10^{-4}$  м/г; рН=4,2. Проявление в пирогаллол-амидоловом проявителе [4].

ние не было чрезмерным, т. е. чтобы пептизация, хотя бы и при высоких рН = 8—9, все же произошла. Дальнейшее введение кислоты переводит эмульсию в кислую область без нарушения ее коллоидной стабильности.

На рис. 6 и в табл. 5 представлены данные о влиянии добавления различных количеств желатинны в осадок, полученный при оптимальных условиях эмульсификации и промывки.

Из этих данных видно, что при добавлении 50% желатинны к осадку, несмотря на коллоидную неустойчивость системы в кислой среде, пептизация осадка становится частично необратимой, так как наблюдается несовпадение рН пептизации и рН обратной коагуляции. При добавлении желатинны в количестве 100—125% относительно ее содержания в коагуляте разность между рН пептизации и рН обратной коагуляции увеличивается, степень необратимой пептизации растет и наконец при 150-процентном добавлении желатинны пептизация становится полностью необратимой. Устойчивость эмульсии сохраняется при химическом созревании сенсibilизированных золотом эмульсий и при длительном хранении в виде геля.

При изучении эффекта необратимой пептизации замечено следующее: 1) полностью необратимая пептизация наблюдается только при использовании свежеприготовленных желатиновых растворов; 2) вторичная коагуляция эмульсии является необратимой. Другими словами, если количество добавленной в осадок желатинны мало для необратимой его

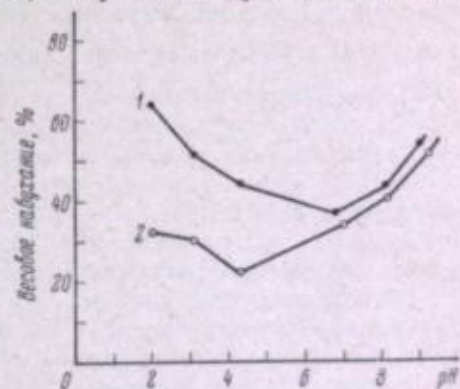


Рис. 9. Весовое набухание бесподложечных эмульсионных слоев в буферных растворах с различными значениями рН. 1 — контрольная эмульсия ПР-2 (промывка в червяках); 2 — ПР-2, сконцентрированная в два раза с помощью ПВА. Время набухания 135 мин.



пептизации, то при добавлении кислоты в эмульсию при соответствующем рН осадок выпадает снова, но вторично его уже не удается пептизировать введением щелочи.

Необратимость повторной коагуляции объясняется, по-видимому, структурными изменениями, претерпеваемыми желатиной при пептизации осадка (деструкция). Поливинилацетат также должен испытывать

Таблица 5

Влияние введения свежеприготовленного раствора желатины на рН пептизации и рН обратной коагуляции

Количество добавленной в осадок желатины (в % к содержанию желатины в коагуляте)	рН пептизации	рН обратной коагуляции	Желатина Полимер
50	7.5	6.4	13.5
100	6.7	4.3	18.0
125	6.4	4.0	20.3
150	5.4	Нет коагуляции до рН = 2.5	22.5
200	5.1	Нет коагуляции до рН = 2.5	27.0

Примечание.  $C_{KNO_3} = 1.5$  г/л,  $\frac{AgNaI}{PBA} = 133:1$ .

подобные структурные изменения, что и дает возможность получать эмульсию, устойчивую при любых рН, введением в осадок свежеприготовленного раствора желатины, так как, не будучи подвергнут пептизации, ПВА в кислой среде при любых малых отношениях  $\frac{\text{желатина}}{\text{ПВА}}$  вызывает коагуляцию желатины.

На рис. 7 представлены кривые распределения микрокристаллов эмульсии по размерам, из которых следует, что коагулированная ПВА эмульсия с уменьшенным в три раза количеством желатины при эмульсификации является несколько более высокодисперсной и более однородной по размерам микрокристаллов, чем эмульсия, промытая обычным способом и при эмульсификации которой присутствует вся желатина.

Регистрационные свойства коагулированной эмульсии, сенсibilизированной золотом при рН=4.2, почти не отличаются от свойств эмульсии, промытой обычным способом (рис. 8).

Увеличение концентрации AgNaI в эмульсии в 1.5—2 раза, которое удается получить при замене промывки эмульсии коагуляцией ее ПВА, не только сокращает продолжительность сушки фотослоев, но и заметно снижает степень их набухания в процессе фотографической обработки (рис. 9).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] П. В. Козлов. Полимеры в кинематографии и фотографии. Изд. «Искусство», М., 57, 1960.
- [2] P. Demers, A. K. Schwerin. Photographie Corpusculaire I, ed. CNRS, Paris, 145, 1958.
- [3] В. М. Уварова, В. А. Мильцева, Усп. научн. фотогр., 7, 150, 1960.
- [4] Б. А. Царев, В. В. Бабкин, Л. М. Зайцева, Тр. ЛИКИ, вып. 9, 3, 1963.

- [5] Д. А. Душейко, Н. А. Петрова, Ю. Б. Виленский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 14, 1964.
- [6] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, В. И. Захаров, Е. В. Фаина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 422, 1964.
- [7] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, В. И. Захаров, Ю. И. Вихрев, Атомная энергия, 11, 543, 1961.
- [8] Д. А. Душейко, Н. А. Петрова, С. А. Доиская, З. Я. Шевченко, Ю. Б. Виленский, Аннотация докл. 2-го совещ. по химии фотогр. эмульсий, Казань, 1963.



Н. А. ПЕРФИЛОВ, Н. Р. НОВИКОВА, В. И. ЗАХАРОВ,  
Е. В. ФАДИНА

## СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ТИПА ПР-2

### Введение

В практике физического исследования часто возникает необходимость в ядерных эмульсиях, обладающих одновременно высокой дисперсностью твердой фазы для более точного определения природы и энергии частиц и высокой чувствительностью индивидуальных кристаллов эмульсии, позволяющей регистрировать следы релятивистских однозарядных частиц с достаточно большой плотностью зерен. Более высокая исходная плотность зерен в следах частиц существенна при длительном экспонировании фотослоев, в особенности при низкой температуре или при значительном интервале между облучением и проявлением слоя, когда плотность зерен после проявления оказывается меньшей в 1.5—2 раза. Кроме того, повышение плотности зерен в следах частиц с минимальной ионизацией необходимо для увеличения эффективности регистрации таких частиц при просмотре вдоль следа, для улучшения условий прослеживания с помощью приборов, действующих без наблюдателя, а также для увеличения точности измерения удельных потерь энергии в области сверхвысоких энергий релятивистских частиц.

Все вышеуказанные свойства сочетает в себе разработанная нами ранее особомелкозернистая ядерная эмульсия ПР; однако повышение чувствительности в эмульсии этого типа достигается дополнительной гиперсенсibilизацией триэтанолламином [1]. В целом ряде случаев может возникать необходимость исключения стадии гиперсенсibilизации, например при использовании бесподложечных эмульсионных камер, из-за плохой сохраняемости таких слоев во времени и трудностей, возникающих при гиперсенсibilизации бесподложечных слоев непосредственно перед их облучением.

В последние годы нами разработана мелкозернистая эмульсия типа ПР-2 [2], позволяющая получать по сравнению с существующими сортами ядерных фотоэмульсий более высокую плотность зерен в следах релятивистских частиц без дополнительной гиперсенсibilизации в триэтанолламине перед облучением.

Эта эмульсия не только находит применение при решении различных задач ядерной физики, но также используется в контрастной и следовой автордиографии. В настоящее время эта эмульсия используется и для электронно-микроскопической автордиографии.

Синтез указанной эмульсии осуществляется на основе разработанного нами ранее метода двухструйной медленной эмульсификации в избытке

ионов серебра при постоянном потенциометрическом контроле за концентрацией этих ионов в процессе эмульсификации и первого созревания эмульсии [1, 3]. Очувствление эмульсии осуществляется путем только золотой сенсibilизации.

Более высокую плотность зерен в следах частиц удалось получить как за счет рецептурных и технологических изменений в процессе изготовления, так и за счет использования специального пирогаллол-амидолового проявителя.

### Фотографическая обработка ядерной эмульсии типа ПР-2

В процессе подбора проявителей для обработки фотоэмульсии типа ПР-2 были испытаны «выравнивающие» проявители с фенидоном и целый ряд быстрых проявителей, содержащих в рецепте высокие концентрации таких проявляющих веществ, как пирокатехин, пирогаллол или амидол. Используемые нами в этом случае рецепты проявителей обычно широко применяются для проявления светочувствительных материалов.

Наилучшие результаты были получены при использовании пирогаллол-амидолового проявителя, который применяется для скоростной обработки светочувствительных материалов [4]. В рецепте этого проявителя сода была заменена бурой, что несколько снизило pH; при этом сохраняемость проявителя во времени возросла. Исследование проводилось на 400-микронных бесподложечных слоях. Сравнение результатов действия пирогаллол-амидолового проявителя и наиболее употребляемых в ядерной фотографии проявителей метол-гидрохинонового (ID-19) и амидолового представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты проявления бесподложечных эмульсионных слоев  
в различных проявителях

Тип эмульсионного слоя	Проявитель	$N_z$ — плотность зерен в следах релятивистских электронов ( $1/100$ мк)	$N_\phi$ — фон вуали ( $1/10^{-2}$ см <sup>2</sup> )	Относительный разброс плотности зерен, %
ПР-2 — 400 мк	Метол-гидрохиноновый (ID-19).	$31 \pm 1.7$	2.5	35.5
	Амидоловый, по НИКФИ.	$34 \pm 1.8$	2.4	27.5
	Пирогаллол-амидоловый с бурой.	$42 \pm 2$	2.3	25.5
М-НИКФИ . .	Амидоловый, по НИКФИ.	$29 \pm 1.7$	2.4	38

Из данных табл. 1 видно, что проявление ядерных фотослоев в пирогаллол-амидоловом проявителе приводит к получению лучших регистрационных свойств, чем в метол-гидрохиноновом и амидоловом проявителях. При проявлении мелкозернистой эмульсии в пирогаллол-амидоловом проявителе наблюдается повышение плотности зерен в следах, релятивистских электронов примерно на 25% при неизменной величине вуали.

Электронно-микроскопическое исследование показало, что при проявлении как в ID-19, так и в пирогаллол-амидоловом проявителе форма и структура проявленных зерен одинаковы. Некоторое различие наблюдается лишь в длительности индукционного периода (в случае  $\beta$ -частиц для пирогаллол-амидолового проявителя он меньше).



Таблица 2

Режим проявления фотослоев эмульсии ПР-2 в пирогаллол-амидоловом проявителе

Толщина фотослоя, мк	Характеристика обрабатываемого слоя	Проявление в дистиллированной воде		Проявление в воде		Проявление при 5-6° С	Остаточная концентрация раствора (2-3° С)		Проявление при температуре 15-18,3° С		Проявление при 10 и меньше
		длительность, мин.	разбавление воды	длительность, мин.	длительность, час		длительность, мин.	длительность, мин.	длительность, мин.	длительность, час	
400	Пластинки и бесподложечный слой, наклеенный на стекло.	120	Концентрированный	120	1:2	30	0.5	120	30	30	48
400	Бесподложечный слой не наклеенный.	60	"	60	1:2	30	0.5	60	30	18	До 20 часов и более
200	Пластинки.	60	"	60	1:2	30	1	60	30	18	То же
100	Пластинки.	—	"	30	1:2	30	1	20	30-40	4	4
50	Пластинки.	—	—	—	1:2	20	1	10	30-40	1	1
20 и меньше	Пластинки и образцы для электронного микроскопа.	—	—	—	1:2	10	0.5	10	30-40	0.5	0.5 и меньше

Приведем окончательный рецепт рекомендуемого нами проявителя:

Вода дистиллированная	— 700 мл при 50° С
Сульфит натрия б/в	— 37 г
Амидол	— 2 г
Пирогаллол	— 25 г
Бура	— 50 г
KBr	— 3 г
H <sub>2</sub> O	до 1000 мл

Для проявления ядерных фотослоев пирогаллол-амидоловый проявитель следует использовать только после суточного выстаивания. Проявление в свежеприготовленном проявителе приводит к сильному вуалированию слоев. Использование проявителя после двухсуточного хранения не рекомендуется, так как в этом случае происходит значительное снижение плотности в следах релятивистских электронов. Оптимальный режим обработки ядерных фотослоев из эмульсии ПР-2 представлен в табл. 2.

Фиксирование, промывку, пластифицирование, высушивание в спиртовых растворах и наклеивание бесподложечных 400-микронных фотослоев до и после обработки производили по методике НИКФИ для бесподложечных слоев типа Р-НИКФИ [5].

### Свойства эмульсии ПР-2

Основные характеристики эмульсии ПР-2 следующие:  
 средний диаметр проявленных зерен в следах релятивистских электронов 0.36 мк;  
 средняя плотность проявленных зерен в следах релятивистских электронов  $40 \pm 5$ ;  
 количество агрегатов в  $10^{-7}$  см<sup>2</sup> — 3;  
 количество зерен вуали в  $10^{-9}$  см<sup>3</sup> — до 5.

Таблица 3

Характеристика свойств некоторых релятивистских ядерных фотоэмульсий

Тип эмульсии	Средний диаметр микрокристаллов, мк	Содержание AgBr в сухом слое	Чувствительность к электронам (плотность зерен/100 мк)	Разброс плотности, %
ПР-2 — пластинки . . .	0.12	83	48	24
ПР-2 — слой . . .	0.12	73	42	25.5
ПР с ТЭА . . .	0.08	83	55	20
Р-НИКФИ . . .	0.28	83	24	54
М-НИКФИ . . .	0.14	—	30	38
G-5 Ильфорд . . .	0.26	84	24.0	34.5
L-4 Ильфорд . . .	0.14	—	25	45

В табл. 3 для сравнения приведены свойства ядерных эмульсий типа ПР-2 и других наиболее часто употребляемых релятивистских фотослоев. Сравнительные исследования по дискриминации ионов В<sup>10</sup> и С<sup>12</sup> в эмульсиях различного типа [6] показали, что при использовании для работы эмульсии типа ПР-2, так же как и ранее разработанной нами эмульсии типа ПР, гиперсенсibilизированной в 6-процентном растворе триэтанолamina, хорошо идентифицируются многозарядные частицы различной природы.



При хранении облученного слоя эмульсии типа ПР-2 при комнатной температуре в течение 7 дней наблюдается снижение плотности зерен в следах релятивистских электронов на 20%, при хранении облученного слоя в течение 45 дней плотность зерен в следах после проявления в результате регрессии скрытого изображения снижается на 45%.

Эмульсия ПР-2 достаточно хорошо сохраняет чувствительность во времени. Хранение фотослоя в холодильнике в плотной упаковке в течение четырех месяцев практически не приводит к изменению чувствительности в вуали. После годичного хранения эмульсии ПР-2 в вышеуказанных условиях чувствительность слоя падает примерно на 30%. Однако эта эмульсия благодаря высокой исходной плотности все же имеет релятивистскую чувствительность и может быть использована для некоторых работ, несмотря на большой фон космических частиц, так как в этом случае изображение фоновых частиц состоит из более мелких зерен.

Из вышесказанного следует, что высокая исходная плотность зерен в следах релятивистских частиц для эмульсии ПР-2, возможность длительного интервала между облучением и проявлением, а также высокая сохраняемость фотослоев во времени позволяют получать удовлетворительные результаты при непредусмотренных отклонениях от условий эксперимента и обработки и в отдельных случаях использовать эмульсию даже после гарантийного срока.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, Е. И. Прокофьева, *Атомная энергия*, 4, 45, 1958.
- [2] Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, В. И. Захаров, Ю. И. Вихрев, *Атомная энергия*, 11, 543, 1961.
- [3] Н. А. Перфилов, Е. И. Прокофьева, Н. Р. Новикова, О. В. Ложкин, В. Ф. Даровских, Г. Ф. Денисенко, *Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр.*, 5, 262, 1960.
- [4] M. H. Dickerson, *Phot. Eng.*, 5, 109, 1954.
- [5] К. С. Богомолов, А. А. Сиротинская, М. Ю. Дебердеев, В. М. Уварова, *Тр. НИКФИ*, вып. 21, 73, 1957.
- [6] П. А. Горичев, О. В. Ложкин, Н. А. Перфилов, *Korpuskularphotographie IV*, München, 565, 1963.

Л. Н. БОКОВА, Л. Г. КРИВЕНЦОВА

#### ОБОГАЩЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ЯДРАМИ ВОДОРОДА

Эмульсия Р-НИКФИ при 58% относительной влажности содержит около 1% водорода по весу [1], что соответствует  $3 \cdot 10^{22}$  ядер водорода в  $1 \text{ см}^3$  эмульсии. Для ряда физических экспериментов, проводимых с помощью ядерных эмульсий, в частности при изучении взаимодействия частиц с водородом, этого количества водорода недостаточно; поэтому встала задача обогащения эмульсии водородом путем введения в эмульсию водородосодержащих веществ. Способ этот получил название «загрузки».

Проводимые ранее работы были основаны на введении водородосодержащих веществ в фотопластины [2, 3]. Нужно было разработать методику обогащения водородом эмульсионных слоев, которые можно было бы использовать для сборки эмульсионных камер. Водородосодержащие вещества, применяемые для загрузки, должны обладать химической устойчивостью, хорошо впитываться эмульсионными слоями и не влиять на фотографические свойства слоя. В качестве таких водородосодержащих веществ использовались дистиллированная вода и этиленгликоль  $(\text{CH}_2\text{OH})_2$ , рекомендованный сотрудниками НИКФИ. Количество водорода в них примерно одинаково: 1/9 часть по весу у воды и 1/11 часть — у этиленгликоля.

При выборе эмульсии преследовались две цели: максимальное введение вещества и сохранение фотографических свойств слоя. Исследовались электронно-чувствительные эмульсии НИКФИ: эмульсии БР-1 толщиной 400 и 600 мк, эмульсии БРС, гиперсенсibilизированные, разбавленные эмульсии с повышенным рН завода техпластинок, а также эмульсии ORWO-K5. При изучении кинетики загрузки исследовалось влияние степени дубления на набухание. В качестве эмульсий разной задубленности, т. е. эмульсий, имеющих разную температуру сползания, были выбраны эмульсии Р-НИКФИ, в которых варьировалось количество вводимого ацетата хрома: в эмульсии однократного дубления — 5 мл 3-процентного раствора ацетата хрома на литр эмульсии, трехкратного — 15 мл и т. д. [4]. Загрузка проводилась дистиллированной водой и этиленгликолем квалификации «чистый» при температуре 20—22° С.

Результаты опытов представлены на рис. 1 и 2, где на оси абсцисс отложено время загрузки, а на оси ординат — количество ядер введенного водорода на  $1 \text{ см}^3$  воздушно-сухого слоя. Количество ядер введенного водорода на  $1 \text{ см}^3$  сухого слоя  $\Delta$  определялось по формуле.

$$\Delta = \frac{AN\Delta p}{MV},$$



где  $N$  — количество атомов водорода в молекуле водородсодержащего вещества,  $A$  — число Авогадро,  $\Delta p$  — количество введенного вещества в граммах,  $M$  — молекулярный вес вводимого вещества,  $V$  — объем сухого слоя в  $\text{см}^3$ .

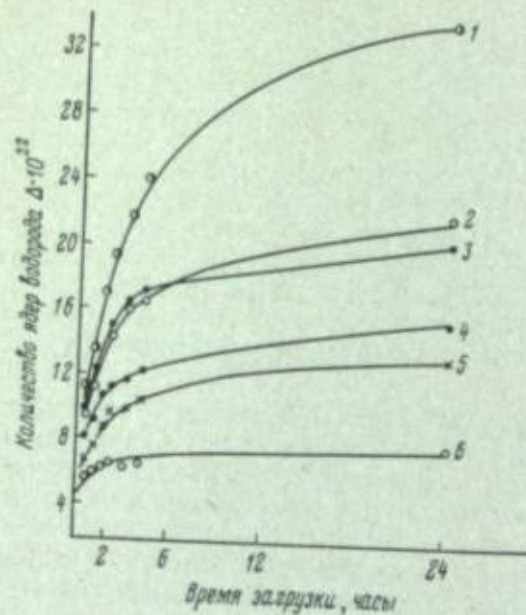


Рис. 1. Кинетика загрузки водой 400-микронных слоев.

1 — дубление  $0\times$ ; 2 — дубление  $3\times$ ; 3 — с повышенным рН; 4 — дубление  $5\times$ ; 5 — дубление  $7\times$ ; 6 — дубление  $15\times$ .

Линейные размеры слоев измерялись линейкой с точностью 0.5 мм, толщина — индикатором с точностью 2 мк; взвешивание проводилось на технических весах с точностью 0.005 г.

Из кривых кинетики загрузки видно, что загрузка водой и гликолем проходит аналогично, отличаясь только временем загрузки; видна четкая зависимость набухания, а следовательно, и количества введенного водорода от степени дубления. По количеству введенного водорода лучшими оказались эмульсии без дубления и «разбавленные», но и те и другие очень непрочны в разбухшем состоянии. Гиперсенсibilизированные эмульсии и эмульсии с повышенным рН чернеют во время фотографической обработки. Сильно задубленные эмульсии набухают очень мало. Поэтому мы остановились на эмульсиях трехкратного дубления (температура сползания  $74^\circ\text{C}$ ), и в дальнейшем все работы с эмульсионными камерами велись на таких эмульсиях.

При выбранном времени загрузки в случае загрузки водой в  $1\text{ см}^2$  сухого слоя вводится  $(13.0 \div 14.5) \cdot 10^{22}$  ядер водорода; при таком наполнении происходит увеличение линейных размеров на 10% и толщины

Таблица 1

Введенное вещество	Плотность сгустков на загруженных водой и этиленгликолем слоях					
	Сухие контрольные слои $N/100\text{ мк}$			Загруженные слои $N/100\text{ мк}$		
	поверхность матовая	середина	поверхность у стекла глянцевая	поверхность матовая	середина	поверхность у стекла глянцевая
Вода . . . . .	25.4	25.0	24.5	13.7	13.1	12.8
Этиленгликоль . . . . .	26.4	26.6	26.5	15.1	15.2	15.2

в 2.5—3 раза, удельный вес эмульсии становится равным  $1.8 \div 1.9\text{ г/см}^3$ . При загрузке гликолем водорода вводится  $(11.0 \div 12.5) \cdot 10^{22}$  ядер на  $1\text{ см}^2$  сухой эмульсии; в этом случае линейные размеры увеличиваются на 7%, толщина — в  $2 \div 2.5$  раза, удельный вес равен  $2.2 \div 2.3\text{ г/см}^3$ . Загруженные водой или этиленгликолем слои облучались западными в политейлен на ускорителях ОИЯИ релятивистскими протонами или

$\pi$ -мезонами. Фотографическая обработка загруженных слоев проводилась в ненаклеенном состоянии по режиму ОИЯИ [5].

Первые результаты, полученные на загруженных водой и этиленгликолем слоях, были доложены в 1960 г. на III Международном совещании

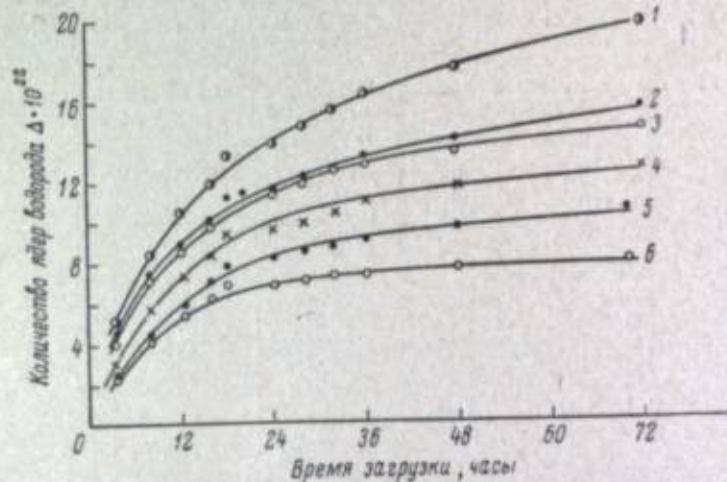


Рис. 2. Кинетика загрузки этиленгликолем 400-микронных слоев. Обозначения те же, что и на рис. 1.

по ядерной фотографии в Москве [6, 7]. Приведенные в табл. 1 данные о плотности сгустков на загруженных слоях представляют собой усредненные значения из многих партий эмульсий, на которых проводилась работа в течение 1961—1963 гг.

Вуаль на загруженных слоях почти не изменялась или возрастала незначительно. Из табл. 1 видно, что загруженные слои теряют почти половину первоначальной чувствительности.

Можно предположить, что уменьшение плотности сгустков на загруженных слоях связано с сильным набуханием слоя по толщине, в связи с чем в момент облучения на пути частицы встречается меньше зерен бромистого серебра, чем при облучении сухих слоев, т. е. можно ожидать зависимости плотности сгустков от степени набухания слоя. В табл. 2 приведены данные о плотности сгустков на загруженных слоях разного дубления, т. е. разной степени набухания по толщине. Из табл. 2 видно, что слои, имеющие разную толщину набухшего слоя, очень мало отличаются по плотности сгустков. Поэтому невозможно объяснить понижение чувствительности на загруженных слоях только набуханием по толщине. Одновременно с падением чувствительности загруженных слоев к ионизирующему излучению замечено падение и общей светочувствительности: при нанесении световой маркировки на загруженные слои экспозиция должна быть значительно большей, чем при маркировке сухих слоев.

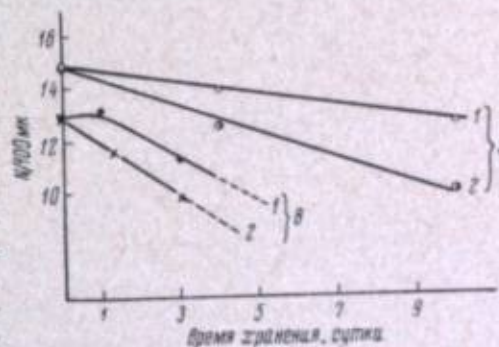


Рис. 3. Регрессия на 400-микронных слоях, загруженных водой (В) и этиленгликолем (Э). 1 —  $t=5^\circ$ ; 2 —  $t=20^\circ$ .



Таблица 2  
Количество ступеней на загруженных пластинах

Время экспозиции	Температура	Количество ступеней	Количество ступеней при 20°C	Количество ступеней при 27°C	Количество ступеней при 30°C
10 мин (100 мк)	20°C	0,2	27,0	15,0	20
		1,0	20,0	15,0	20
		2,0	20,0	15,0	20
		3,0	20,0	15,0	20
10 мин (100 мк)	27°C	0,2	27,0	15,0	20
		1,0	20,0	15,0	20
		2,0	20,0	15,0	20
		3,0	20,0	15,0	20

Кривые также регрессию на загруженные пластины в стандартном виде. Загруженные пластины проявлялись после облучения при 20 и при 27°C в течение нескольких дней. На рис. 3 видно, что при загрузке стандартных ступеней различия через 10 суток после облучения при загрузке выдержки ступеней могут проявиться после облучения не более трех суток, а на последующие ступени в две ступени не проявляются.

Таблица 3

Тип эмульсии	Количество ступеней на загруженных пластинах (различия 0,5 мк)		
	Средняя температура, °C	Время экспозиции, мин	Средняя температура, °C
БРТ	20,5	10,2	20
БРС	20,5	12,2	20
БРТ	20,5	12,2	20

В последние время на загруженных в НИКОН высококачественных эмульсиях — БР-2, БРС (сенсифицированных), БРТ мы получили более высокую плотность ступеней, чем на эмульсии БР-1. В табл. 3 приведены данные о плотности ступеней на таких загруженных пластинах. Количество выходов, введенного в эти эмульсии, соответствует количеству выходов, введенного в обычные эмульсии, за исключением эмульсии БРТ, которая почти не выводится.

#### ЛИТЕРАТУРА

- М. Ф. Родичева, Тр. НИКОН, вып. 22, 29, 1959.
- Т. А. Родичева, Проб. и тех. вып., № 2, 11, 1958; Л. С. Дулакова, Т. А. Родичева, М. В. Соколов, Л. В. Сухов, К. Д. Толстов, М. Д. Шафранова, Докл. АН СССР, 197, 43, 1958.
- С. J. Berry, Tech. Instrum., 1, 129, 1957.
- В. М. Уварова, В. А. Нильцева, Усп. науч. фотогр., 7, 150, 1960.
- Л. Г. Березина, Прирост ОНН, № 1022, 1962.
- Н. Долганов, Т. А. Колупинкина, Л. Г. Кривенцова, К. Д. Толстов, В. М. Уварова, Изв. фотогр., 171, 1962.
- Де Не С-4, Л. Г. Кривенцова, С. П. Дыбенкова, М. Д. Шафранова, Изв. фотогр., 66, 1962.

Я. М. ВЕПРИК, А. П. ЖДАНОВ, Г. Г. МАРТЫШ,  
Л. И. ШУР

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОЯВЛЯЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ В ЯДЕРНУЮ ЭМУЛЬСИЮ

Проявление ядерных эмульсий по своему существу представляет сложный физико-химический процесс. Кроме того, и по технике осуществления их проявление связано со многими осложнениями, в частности при работе в экспедиционных условиях, а особенно при проведении этого процесса в автономных условиях без участия экспериментатора [1].

Для упрощения процесса проявления мы решили выбрать путь, связанный с созданием эмульсии, содержащей в своем составе проявляющее вещество. Идея приготовления такой эмульсии отнюдь не нова. Так, в литературе описано изготовление кинофотоматериалов, содержащих проявляющее вещество [2—4]. Однако среди ядерных эмульсий, выпускаемых советскими и зарубежными фирмами, эмульсии такого рода отсутствуют. Возможно, это объясняется особенностями выбора проявляющего вещества для введения в эмульсию.

Исходя из предыдущих исследований [6, 7], мы пришли к выводу, что окислительно-восстановительный потенциал проявляющего вещества является наиболее важным физико-химическим критерием, который лучше всего позволяет выбрать вещество для введения в эмульсию, поскольку именно он характеризует окисляемость проявляющего вещества при данных значениях pH. По этому признаку был выбран из ряда проявляющих

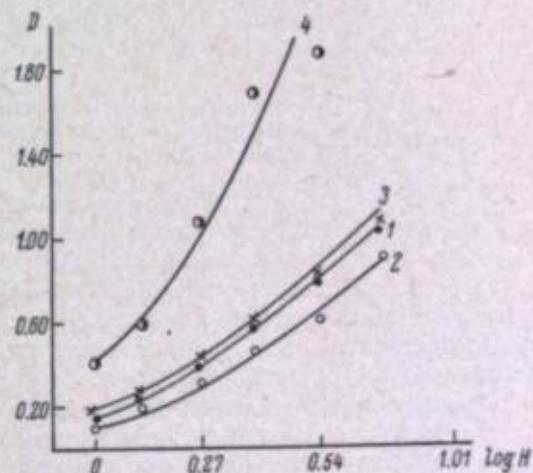
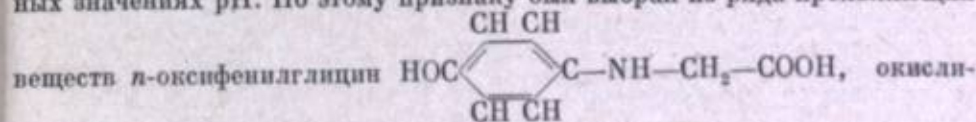


Рис. 1. Характеристические кривые эмульсии А-2 с введенным проявляющим веществом и контрольной.

1 — контрольная пластинка; 2 — то же спустя две недели; 3 — пластинка с введенным проявляющим веществом; 4 — то же через две недели.





тельно-восстановительный потенциал которого был определен ранее в широком интервале значений pH.

В процессе работы по созданию ядерной эмульсии, содержащей в своем составе *l*-оксифенилглицина, были исследованы оптимальные условия введения проявляющего вещества и оптимальные значения pH «проявляющего» водно-щелочного раствора и выяснены возможности смещения равновесия в сторону процесса проявления путем уменьшения концентрации окисленной формы проявляющего вещества. Кроме того, исследовалось изменение чувствительности данной эмульсии с течением времени.

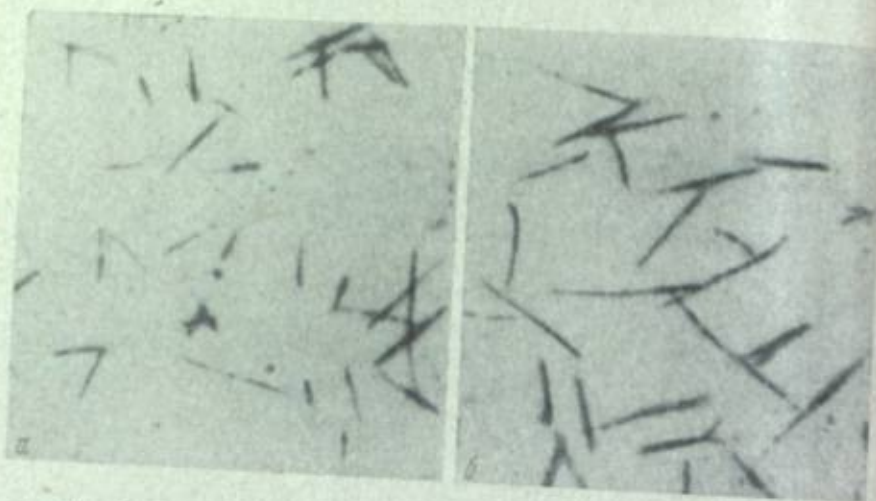


Рис. 2. Сопоставление следов  $\alpha$ -частиц на обычных пластинках (а) и на пластинках с введенным проявляющим веществом (б).

Лучшие результаты были получены при введении в эмульсию типа А-2 перед поливом 0.075 М раствора *l*-оксифенилглицина в 0.1-н растворе соды (на 75 мл эмульсии 25 мл раствора *l*-оксифенилглицина).

Готовые пластинки с толщиной слоя 50 мк экспонировались  $\alpha$ -получением  $^{210}\text{Po}$  и для сравнения светом лампы накаливания с выдержкой 2 мин. непосредственно после изготовления, а также после двухнедельного хранения пластинок при 20° С и относительной влажности 62%.

Лучшим временем «проявления» оказалось 45 мин. в растворе с pH=11.

На рис. 1 приведены характеристические кривые для эмульсии А-2 с введенным проявляющим веществом и без него. Как видно из рис. 1, с течением времени плотности соответствующих полей на пластинках обычной эмульсии понизились, а на пластинках с проявляющим веществом — существенно повысились при незначительном повышении вуали. Это можно объяснить частичным восстановительным действием проявляющего вещества.

Тип пластинки	Срок хранения			
	0 дней		15 дней	
	плотность зерен на 20 мк	вуаль на $10^{-4}$ см <sup>2</sup>	плотность зерен на 20 мк	вуаль на $10^{-4}$ см <sup>2</sup>
А-2 контрольная (проявление в амидоловом проявителе) . . . . .	40.0±2.0	0.5	36±3.0	0.8
С введенным <i>l</i> -оксифенилглицином (проявление в водно-щелочном растворе с pH=11) . . . . .	26.0±1.0	0.3	30.0±1.0	0.7

В таблице приведены данные об изменении плотности следов  $\alpha$ -частиц и вуали с течением времени хранения пластинок.

Как и следовало ожидать, плотности следов  $\alpha$ -частиц на пластинках из эмульсии с проявляющим веществом несколько меньше, чем на контрольной ввиду различной концентрации и восстановительной активности *l*-оксифенилглицина и амидола. Однако плотность следов  $\alpha$ -частиц вполне достаточна для четкого их различения, что видно на рис. 2.

Изученная ядерная эмульсия с введенным в нее проявляющим веществом чувствительна к  $\alpha$ -излучению и не требует после облучения специальной стадии обработки в проявляющем растворе.

Уменьшение концентрации окисленной формы проявляющего вещества в эмульсионном слое должно было бы привести к ускорению реакции проявления. С этой целью мы провели серию опытов, связанных с введением в эмульсию *l*-оксифенилглицина совместно с проявляющим веществом и сульфитом. Как и предполагалось, введение сульфита привело к повышению плотностей сопоставляемых полей.

Таким образом, активность проявляющего вещества при прочих равных условиях может изменяться путем введения различных веществ, влияющих на его окислительно-восстановительный потенциал.

Авторы выражают благодарность Н. Б. Шляминой за помощь в работе и проведенные измерения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Я. М. Веприк, Л. В. Курносова, Л. А. Разоренов, К. Д. Толстов, М. И. Фрадкин, В. С. Чукин, ИСЗ, сб. 11, 35, 1961.
- [2] К. И. Мархилевич, В. И. Шеберстов, Н. И. Кириллов и др. Современное развитие фотографических процессов. Изд. «Искусство», М., 69, 1960.
- [3] Н. И. Кириллов, М. Ю. Дебердеев, Н. Е. Кириллова, Техн. кино и телевид., № 1, 38, 1963.
- [4] A. Shepp, L. Corben, I. Theodorou, Photogr. Sci. a. Engng, 7, 48, 1963.
- [5] J. Kubal, Photographie Corpusculaire I, ed. CNRS, Paris, 225, 1958.
- [6] Я. М. Веприк, Г. П. Фаерман, Докл. АН СССР, 114, 354, 1957.
- [7] Я. М. Веприк, Тр. ЛИКИ, вып. 5, 62, 1957.



Д. И. САМОИЛОВИЧ

### О ЦЕНТРАХ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И ЦЕНТРАХ ПРОЯВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

В настоящее время уже известно, что нет принципиальной разницы между ядерными и световыми эмульсиями, а также в механизме образования светлого изображения при воздействии на кристаллы галогенида серебра квантов света и при прохождении через них заряженных частиц.

Процесс образования светлого изображения как в первом, так и в втором случае описывается достаточно полно теорией Герни и Мотта. Наблюдение различия лежит или в сфере технологической (в случае ядерных эмульсий — большая концентрация галогенного серебра, более крупные и равномерные микрокристаллы, равномерная чувствительность микрокристаллов, большая толщина слоев), или же связана с неэффективностью использования электронов, выделившихся в микрокристаллах галогенида серебра под действием частиц.

Ядерные эмульсии, облученные частицами, удобны для изучения процессов, происходящих в отдельных микрокристаллах. В каждом отдельном случае можно знать среднюю граничную чувствительность эмульсионных микрокристаллов и средние потери энергии частиц в них. Следовательно, при облучении эмульсии и микроскопическом исследовании следов отдельных частиц могут быть изучены изменения свойств отдельных микрокристаллов.

Нам изучалась природа центров чувствительности и центров проявления, причем использовались ядерные эмульсии различной чувствительности, в том числе и sensibilizированные солями золота, чувствительными и минимально ионизирующим частицам.

Вначале рассмотрим результаты работ, проведенных с эмульсиями sensibilizированными в процессе синтеза солями золота, т. е. эмульсиями, у которых серебро созревания покрыто слоем золота или же целиком замещено на золото.

Основные результаты этих работ следующие.

В работах по исследованию процесса проявления ядерных эмульсий типа P [1, 2] было показано:

1. Максимальная плотность следов релятивистских частиц — величина постоянная для каждой данной эмульсии и от условий проявления практически не зависит.

2. Для тех работ не доказывавших на совещании и присланных автором взаимно трех прочтением со следующим докладом: «а) центрах чувствительности и центрах проявления sensibilizированных ядерных эмульсий, б) центрах чувствительности ядерных эмульсий sensibilizированных золотом и триэтилоамином», «Сравнительная характеристика ядерных эмульсий триэтилоамином и другими щелочными sensibilizаторами».

3. Речь идет об эмульсиях, не подвергнутых оптической sensibilizации.

2. В проявленной эмульсии наблюдаются зерна вуали двух типов: зерна обычной вуали такого же размера, как в следах частиц, и зерна существенно меньшего размера. Возникновение обычной вуали обязано наличию некоторого числа микрокристаллов галогенида серебра, в которых уже в процессе изготовления эмульсии образовались центры проявления, достаточные для проявления микрокристалла без дополнительной ионизации. Проявление микрокристаллов такой вуали начинается одновременно с проявлением ионизированных микрокристаллов и идет примерно с такой же скоростью.

При более длительном и более интенсивном проявлении эмульсии возникает вуаль другого типа — мелкозернистая вуаль. Эта вуаль проявляется значительно позднее, чем ионизированные микрокристаллы и зерна обычной вуали, скорость же нарастания числа таких зерен со временем проявления очень велика. В процессе проявления размеры зерен увеличиваются. Вскоре после начала проявления мелкозернистой вуали зерна следа перестают быть различимыми. Анализ этого явления показал, что начало проявления мелкозернистой вуали является началом проявления основной массы микрокристаллов эмульсии. Этот факт свидетельствует о том, что в подавляющем большинстве микрокристаллов присутствуют малые, много меньшие, чем у ионизированных микрокристаллов, и близкие между собой центры проявления.

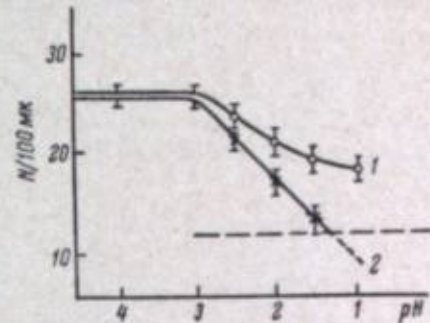


Рис. 1. Зависимость плотности сгустков в следах быстрых электронов (N/100 мк) от концентрации кислоты (pH).

Обработка  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , 2 часа. Кружки — слой, обработанный  $HNO_3$ ; крестики — обработанные  $H_2SO_4$ . 1 — до облучения; 2 — после облучения.

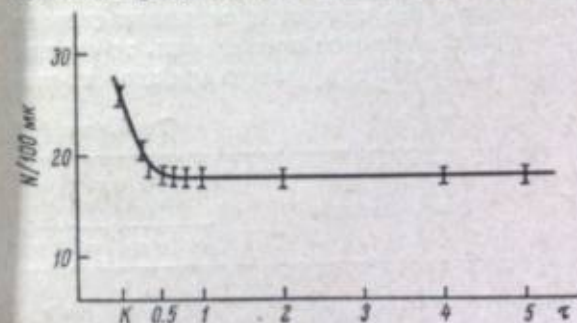


Рис. 2. Зависимость плотности сгустков в следах быстрых электронов (N/100 мк) от времени обработки кислотами (τ).

τ — время обработки (в часах) растворами кислот ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ; pH=1); K — контроль.

меньше 500 эв. Число образованных частицей электронов может достигать в этом случае 80—100. Учитывая, что на поверхности микрокристалла имеется не одна, а не менее двух-трех эффективных ловушек и происходит рекомбинация в каждой эффективной ловушке, на поверхности микрокристалла может образоваться и закрепиться не более 10—20 атомов серебра. Пользуясь статистическим распределением и зная, что при обычных условиях проявления вуаль ядерных эмульсий очень мала (полное количество зерен вуали обоих типов не должно превышать 0.5 зерна/200 мк<sup>2</sup>), можно показать, что в центрах чувствительности эмульсий типа P, sensibilizированных золотом в процессе химического созревания, количество атомарного серебра, инициирующего процесс проявле-



ния, должно быть очень малым: при среднем количестве атомов серебра, равном 10, — не более двух, а при среднем числе атомов, равном 20, — не более пяти-шести.

В следующих работах [4—6] выяснилось, нельзя ли отделить атомарное серебро центров чувствительности от основного вещества центров. Результаты приведены на рис. 1, 2 и 3.

Из рисунков следует, что в облученных эмульсиях, сенсibilизированных золотом, скрытое изображение может быть уничтожено обработкой эмульсии в кислотах перед проявлением. Чувствительность эмульсии при обработке кислотами до облучения сохраняется полностью в тех случаях, когда сенсibilизация эмульсии золотыми солями в процессе химического созревания была проведена после некоторого предварительного химического созревания без солей золота, и лишь незначительно уменьшается в тех случаях, когда такого предварительного созревания не было.

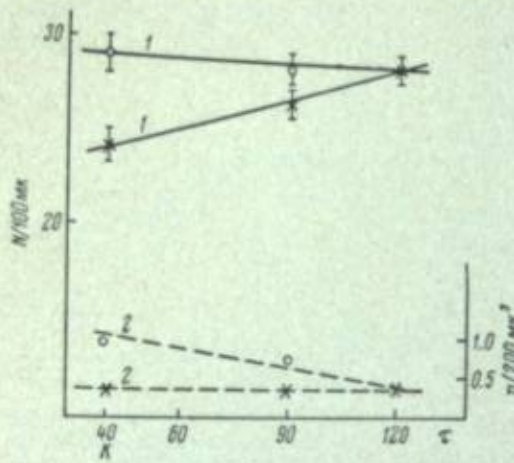


Рис. 3. Зависимость плотности сгустков в следах быстрых электронов и плотности вуали от времени химического созревания до введения солей золота.

Время созревания в присутствии солей золота 3 часа;  $\tau$  — время химического созревания до введения солей золота (в минутах). Кружки — контрольные эмульсионные слои; крестики — слои, обработанные  $H_2SO_4$  (рН=1) до облучения. 1 — плотность сгустков в следах (N/100 мк); 2 — плотность зерен вуали (n/200 мк<sup>2</sup>).

Так как нет оснований предполагать, что центры проявления состоят не из атомарного серебра, инициирующего процесс проявления, то отсюда следует, что центры чувствительности, не инициирующие процесс проявления за разумные времена проявления и нерастворимые в кислотах (так как чувствительность эмульсии не падает при обработке кислотой в течение много большего времени, чем требуется для полного уничтожения центров проявления), обладают другой, отличной от центров проявления природой. Из рисунков следует также, что наличие серебра созревания в таких центрах чувствительности почти не увеличивает плотность следов при постоянной вуали в этом случае увеличивается не более, чем на два-три зерна/100 мк пробега частицы в эмульсии. Накопление серебра в центре чувствительности неизбежно приводит, однако, к возрастанию вуали эмульсии. Эти результаты свидетельствуют о том, что чувствительность эмульсий, сенсibilизированных золотом, к релятивистским частицам опре-

Таблица 1

Способ обработки	Эмульсия НИКФИ-4405	
	N/100 мк	n/200 мк <sup>2</sup>
Контрольная эмульсия . . .	24.0 ± 1	0.6
Облучение в 2-процентном растворе ТЭА . . . . .	23.8 ± 1	0.5
2-процентный раствор ТЭА, сушка, облучение . . . . .	44.0 ± 1	0.8
2-процентный раствор ТЭА, промывка, сушка, облучение . . . . .	26.0 ± 1	0.7
2-процентный раствор ТЭА, сушка, промывка, сушка, облучение . . . . .	30.0 ± 1	0.8
2-процентный раствор ТЭА, сушка, обработка кислотой, промывка, сушка, облучение . . . . .	18.1 ± 1	0.4

деляется наличием золотых или позолоченных центров чувствительности.

Результаты наших работ [4—6] не подтвердили восстановительный механизм гиперсенсibilизации эмульсий ТЭА [7], так как восстановительный механизм объясняет увеличение чувствительности эмульсий накоплением атомов серебра в центре чувствительности. Основные экспериментальные результаты наших работ по исследованию механизма гиперсенсibilизации ядерных эмульсий ТЭА [8, 9] приведены на рис. 4, 5 и в табл. 1. Промывка водой эмульсии сразу после гиперсенсibilизации перед ее высушиванием уничтожает эффект гиперсенсibilизации полностью. Промывка водой гиперсенсibilизированной эмульсии после высушивания также почти полностью уничтожает эффект гиперсенсibilизации. Плотность следов при неизменной плотности вуали увеличивается в этом случае всего на два-три зерна. Промывка кислотой во всех случаях, при любой плотности вуали, снижает чувствительность эмульсии до ее первоначального значения.

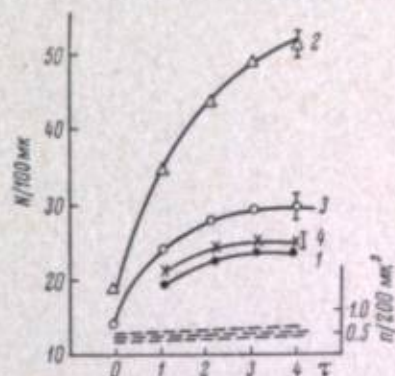


Рис. 4. Зависимость плотности сгустков в следах быстрых электронов (N/100 мк) и плотности вуали (n/200 мк<sup>2</sup>) от времени химического созревания.

Сплошная кривая — плотность сгустков в следах (N/100 мк); пунктирная — плотность зерен вуали (n/200 мк<sup>2</sup>);  $\tau$  — время созревания (в часах) после введения солей золота. 1 — несенсibilизированные эмульсии; 2 — эмульсии, обработанные ТЭА; 3 — эмульсии, обработанные ТЭА, затем промытые водой; 4 — эмульсии, обработанные ТЭА и промытые  $H_2SO_4$  (рН=1) в течение двух часов.

Как хорошо известно, серебро нерастворимо в воде и, следовательно, наши результаты однозначно показывают, что при гиперсенсibilизации ТЭА в центрах чувствительности образуется не атомарное серебро, а химическое соединение серебра, растворимое в воде. При некоторых режимах гиперсенсibilизации может иметь место и накопление атомарного серебра. Однако в этих случаях одновременно с ростом чувствительности резко нарастает вуаль. И, действительно, при обработке таких гиперсенсibilизированных эмульсий кислотой, т. е. при удалении атомарного серебра из центров, уничтожается не только приобретенная во время гиперсенсibilизации чувствительность, но и избыточная вуаль.

Таким образом, следует считать доказанным, что природа основных центров чувствительности и центров проявления в эмульсиях типа Р, сенсibilизированных солями золота, различна. В соответствии с этим возможность различения следов релятивистских частиц возникает лишь потому, что центры чувствительности содержат ничтожное количество серебра в той форме, которая инициирует процесс проявления, и поэтому скорость проявления облученных и необлученных микрокристаллов различна.

Исключительный интерес с точки зрения механизма образования центров скрытого изображения представляет исследование несенсibilизированных эмульсий. Располагая сведениями о средних потерях энергии частиц в микрокристаллах галогенного серебра и используя простейшие статистические расчеты, можно оценить для различных условий химического созревания и, следовательно, для различной чувствительности эмульсий среднее количество серебра созревания, которое может находиться в центрах чувствительности в той форме, которая инициирует процесс проявления.

В этой работе [10] использовались эмульсии, полученные одновременным сливанием раствора бромистого калия (с ничтожной добавкой



Таблица 2

Условия химического созревания		Граница чувствительности					
температура, °C	время, мин.	α-частицы, E = 5.3 Мэв полное число зерен в 21 мк	протоны			средняя потеря энергии на кристалла галлоидного серебра на границе чувствительности, эв	максимальное число электронов, которые могут образоваться в кристалле при средней потере энергии
			пробег, мк	E, Мэв	число зерен на 100 мк пробега в конце следа		
Химического созревания нет		10—12	—	—	—	50	6000
50	10	18—20	100	3.5	40±5	7.0	1200
50	60	Следы сплошные.	300	7	60±5	3.5	600
60	20	То же.					
70	15	»					
50	150	»	500—600	10	75±5	2.5	450
60	45	»					
70	20	»					
50	до 5 час.	»	(по μ <sup>+</sup> -мезону из π <sup>+</sup> →μ <sup>+</sup> -распада)	Следы не регистрируются.			
60	150	»	»	50—55	95±5	1	150—170
70	30	»	»				

частиц, а вуаль в процессе созревания практически не растет. Благодаря тому что релятивистские частицы образуют в центрах чувствительности микрокристаллов весьма малое количество серебра, при коротких временах проявления следы релятивистских частиц не видны, и для того чтобы их наблюдать, процесс проявления интенсифицируется. Интенсификация вполне возможна, так как золоченые центры чувствительности не инициируют процесс проявления за разумные времена.

### Выводы

1. Релятивистской чувствительностью обладают только те эмульсии, у которых природа центров чувствительности и центров проявления различна, например эмульсии, сенсibilизированные в процессе химического созревания солями золота. Центры чувствительности таких эмульсий сами по себе не должны инициировать процесс проявления.

2. Средней чувствительностью могут обладать несенсibilизированные эмульсии, имеющие в процессе синтеза химическое созревание различной продолжительности в присутствии активных желатин. Кинетика химического созревания таких эмульсий не отличается от кинетики созревания световых эмульсий, и, следовательно, центры чувствительности (представляющие собой дефекты решетки или включения сернистого или металлического серебра) могут содержать атомарное серебро, инициирующее процесс проявления. Граничное число атомов серебра в поверхностных центрах чувствительности определяется статистическими законами.

3. Эмульсии малой чувствительности, предназначенные для регистрации α-частиц природных радиоактивных веществ и осколков деления, не требуют проведения химического созревания. Места закрепления элек-

тронов, а следовательно, и атомов серебра создаются частицами, разрушающими во время облучения кристаллическую решетку микрокристаллов галлоидного серебра.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. М. Самойлович, Ядерная фотография, 277, 1962; Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 7, 325, 1962.
- [2] Л. М. Барков, Д. М. Самойлович, Ядерная фотография, 287, 1962; Докл. АН СССР, 136, 1059, 1960.
- [3] К. С. Богомолов, Докт. диссертация, МГУ, 1962.
- [4] Д. М. Самойлович, В. И. Калашникова, Е. С. Барнинова, Докл. АН СССР, 145, 778, 1962.
- [5] Д. М. Самойлович, Е. С. Барнинова, И. В. Ардашев, Докл. АН СССР, 145, 557, 1962.
- [6] Д. М. Самойлович, И. В. Ардашев, Е. С. Барнинова, Р. В. Рыбова, О. П. Юхновская, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 8, 359, 1963.
- [7] А. П. Жданов, А. Л. Картужанский, И. В. Рыжкова, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 53, 281, 1958.
- [8] Д. М. Самойлович, И. В. Ардашев, Е. С. Барнинова, Proc. V. Intern. Conf. Nucl. Photogr., ed. CERN, v. 2, II-75, 1965.
- [9] Д. М. Самойлович, И. В. Ардашев, Е. С. Барнинова, Proc. V. Intern. Conf. Nucl. Photogr., ed. CERN, v. 2, IV-41, 1965.
- [10] Д. М. Самойлович, Proc. V. Intern. Conf. Nucl. Photogr. ed. CERN, v. 2, II-65, 1965.
- [11] А. А. Михайлова, К. В. Чибисов, Тр. НИКФИ, вып. 8, 75, 1948.



К. М. РОМАНОВСКАЯ, К. С. БОГОМОЛОВ

### МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ ВЛАГИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ЦЕНТРОВ СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Ранее [1] нами было рассмотрено влияние влаги на стабильность скрытого изображения при постоянной температуре. Однако известно [2—4], что стабильность скрытого изображения сильно зависит также от температуры при хранении экспонированного эмульсионного слоя. Для установления этой зависимости эмульсионные слои выдерживали при заданной температуре и различной, но постоянной для данной температуры влажности.

На рис. 1 приведены кинетические кривые, показывающие изменение нестабильности скрытого изображения при хранении облученных эмульсионных слоев типа Р-НИКФИ в определенных условиях температуры и влажности.

Полученные экспериментальные результаты согласуются с известными ранее данными о том, что регрессия увеличивается с повышением влажности эмульсионного слоя. Повышение температуры (при данной влажности слоя) приводит к увеличению скорости регрессии и сокращению времени жизни следов заряженных частиц.

Полученные экспериментальные результаты согласуются с известными ранее данными о том, что регрессия увеличивается с повышением влажности эмульсионного слоя. Повышение температуры (при данной влажности слоя) приводит к увеличению скорости регрессии и сокращению времени жизни следов заряженных частиц. Кинетические кривые зависимости регрессии от времени для разных температур при заданной влажности слоя дают возможность установить зависимость между временем и температурой для регрессии определенной доли центров скрытого изображения  $f$ . Семейство кинетических кривых, полученных при постоянной влажности, пересекалось прямыми, параллельными оси абсцисс (прямые  $f = \text{const}$ ). Тогда каждому значению температуры будет соответствовать свое время регрессии определенной доли микрокристаллов, и можно построить семейство кривых зависимости  $\tau_f = \Psi(T)$  для данного  $f$ . Схематически это изображено на рис. 2. Такой обработке были подвергнуты кинетические кривые рис. 1, и для них определены времена регрессии при заданной доле распада центров скрытого изображения. Для сравнения численные значения регрессии определенной доли микрокристаллов при хранении облученных эмульсионных слоев в различных условиях температуры и влажности приведены в табл. 1.

Анализируя данные табл. 1, можно видеть, что с повышением температуры и влажности уменьшается время, за которое регрессирует одна и та же доля микрокристаллов. В частном случае распада центров скрытого изображения, образованных действием релятивистской частицы, практический интерес представляет регрессия не более 25—30% от первоначальной плотности зерен, что определяется нижним пределом плотности зерен, при которой след еще можно различить среди зерен фона вуали. Для эмульсий с относительно низким фоном (2.5—3.0 зерен в объеме  $10^{-9}$  см<sup>3</sup>)

этот предел примерно соответствует 20 зернам на 10 мк пробега. Как видно на кривых кинетики регрессии (рис. 1), при  $f \leq 30\%$  нестабильность практически линейно зависит от времени.

На рис. 3 представлена зависимость  $\ln(1-f) = \ln \frac{N_\tau}{N_0} = F(\tau)$ . Как видно из рис. 3, ход кривых  $f=f(\tau)$  соответствует экспоненциальному закону.

В случае линейной зависимости  $f(\tau)$  время распада  $\tau$  некоторой доли зерен можно рассматривать как меру самого процесса распада.

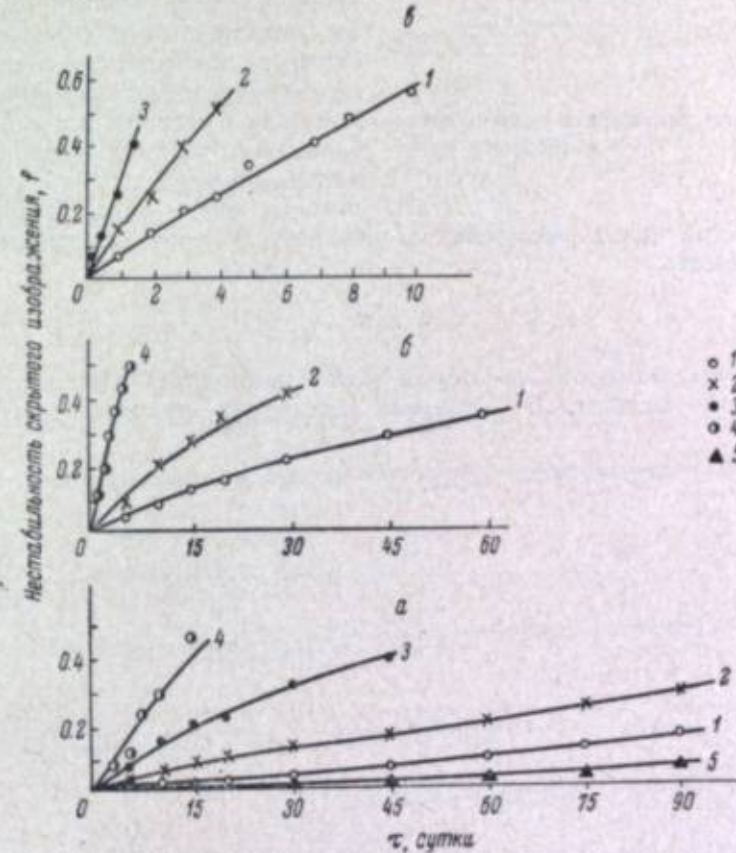


Рис. 1. Кинетика регрессии скрытого изображения следов релятивистских частиц при хранении облученных эмульсионных слоев в различных условиях влажности ( $W$ ) и температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$a - W=1\%$  ( $\varphi=0$ );  $б - W=2,8\%$  ( $\varphi=60\%$ );  $а - W=20\%$  ( $\varphi=100\%$ ).  
1 — 40°; 2 — 20°; 3 — 36°; 4 — 50°; 5 — 20°.

Если принять, что элементарный процесс регрессии связан с уходом электрона из атома серебра центра скрытого изображения в зону проводимости и сам уход электрона определяется его тепловым движением, то, согласно Узббу [5], среднее время жизни электрона в потенциальной яме (центре скрытого изображения) с глубиной  $U$  определяется соотношением

$$\tau = \tau_0 e^{\frac{U}{kT}}, \quad (1)$$

где  $\tau$  — среднее время жизни электрона в потенциальной яме,  $\tau_0$  — фактор, определяемый формой потенциальной ямы и скоростью электрона



и дей:  $U$  — энергия активации,  $f$  — степень скрытия центров.

Из данных рис. 3 видно, что время регрессии  $\tau_r$  для микрокристаллов  $f$  зависит от доли распавшихся центров  $f$ ; однако можно увидеть, что время регрессии  $\tau_r$  для микрокристаллов  $f$  не зависит от доли распавшихся центров  $f$ .



Рис. 2. Связь между временем регрессии  $\tau_r$  и степенью скрытия центров  $f$  для микрокристаллов  $f$  при различных относительных влажностях  $\varphi$ .

Связь между временем регрессии  $\tau_r$  и степенью скрытия центров  $f$  для микрокристаллов  $f$  при различных относительных влажностях  $\varphi$ .

где  $\tau_r$  — время регрессии некоторой доли  $f$  микрокристаллов  $f$  в слое эмульсионного слоя,  $U$  — энергия активации процесса регрессии.

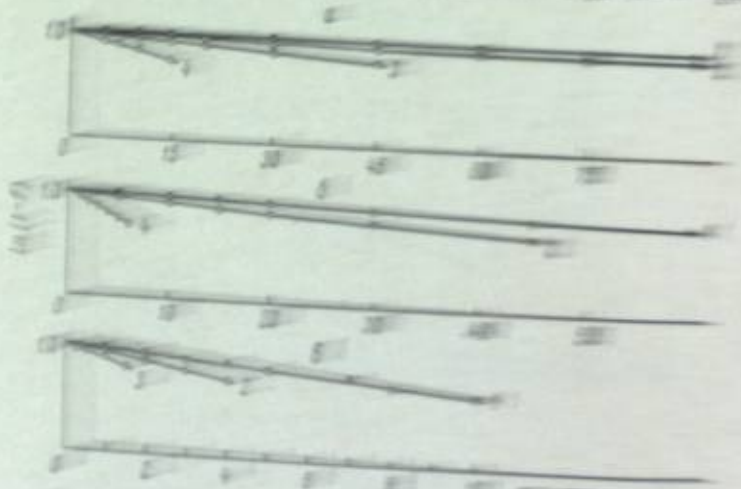


Рис. 3. Связь между временем регрессии  $\tau_r$  и степенью скрытия центров  $f$  для микрокристаллов  $f$  при различных относительных влажностях  $\varphi$ .

Связь между временем регрессии  $\tau_r$  и степенью скрытия центров  $f$  для микрокристаллов  $f$  при различных относительных влажностях  $\varphi$ .

Связь между временем регрессии  $\tau_r$  и степенью скрытия центров  $f$  для микрокристаллов  $f$  при различных относительных влажностях  $\varphi$ .

Существенно, что если принятые предположения верны, то величина энергии активации не должна зависеть от доли распавшихся центров скрытого изображения, т. е.

прямые  $\ln \tau_r = \Psi\left(\frac{U}{T}\right)$  для данной влажности, но разных  $f$  должны быть параллельными.

Прологарифмировав выражение (2) и построив графики  $\ln \tau_r = \Psi\left(\frac{U}{T}\right)$  (рис. 4),<sup>2</sup> видим, что точки ложатся на параллельные прямые линии, что подтверждает справедливость использования выражения (2) в рассматриваемом интервале значений  $f$ . Из наклона полученных прямых рис. 4 можно определить  $U$ , т. е. энергию активации — глубину потенциальной ямы при распаде центра скрытого изображения. При расчетах были использованы данные табл. 1, а для определения  $U$  и  $A_k$  производились простые вычисления: решалась система двух уравнений, соответствующих данным выбранным точкам и определялись значения  $A_k$  и  $U$ . Такой способ позволяет провести крупномасштабное построение экспериментальной части прямых (рис. 4) и уменьшить ошибку в определении  $A_k$  и  $U$ .

Таблица 1

Время, за которое плотность аэрей в следах релятивистских частиц уменьшается на одну и ту же долю при разных температурах (Обозначения:  $\varphi$  — относительная влажность,  $W$  — содержание влаги в эмульсии по весу)

Степень регрессии $f$	Время регрессии заданной доли микрокристаллов, час.			
	при 4° С	при 20° С	при 36° С	при 50° С
$\varphi \approx 100\%$ , $W \approx 20\%$				
0.25	100	48	24	—
0.20	79	38	20	—
0.15	56	27	15	—
0.10	36	18	9	—
0.05	17	8	4	—
$\varphi \approx 60\%$ , $W = 2.8\%$				
0.25	950	340	—	56
0.20	740	253	—	47
0.15	480	180	—	29
0.10	240	95	—	16
0.05	144	55	—	9
$\varphi \approx 0\%$ , $W \approx 1\%$				
0.25	—	1920	505	209
0.20	—	1470	384	156
0.15	3030	1020	283	108
0.10	1620	575	156	65
0.05	820	216	72	28

Таблица 2

Величина энергии активации  $U$  процесса распада центров скрытого изображения

Степень регрессии скрытого изображения $f$	Энергия активации $U$ , эв		
	$\varphi \approx 0\%$ , $W \approx 1.0\%$	$\varphi \approx 58\%$ , $W = 2.8\%$	$\varphi \approx 100\%$ , $W \approx 20\%$
0.05	0.58	0.47	0.33
0.10	0.57	0.47	0.33
0.15	0.57	0.47	0.33
0.20	0.58	0.47	0.33
0.25	0.57	0.47	0.33

В табл. 2 приведены значения энергии активации процесса регрессии для данной влажности эмульсионного слоя.

Данные таблицы показывают, что

а) энергия активации уменьшается с увеличением влажности эмульсионного слоя;

б) для данной влажности эмульсионного слоя энергия активации процесса регрессии не зависит от степени регрессии (для  $f \leq 0.3$ ).

Следует обратить внимание на то, что полученные значения энергии активации (табл. 2) ниже значений, полученных рядом авторов [5—8]

<sup>2</sup> На рис. 4 приведены не все полученные экспериментальные кривые.



при определении величины потенциала ионизации атома фотолитического серебра в эмульсионном кристалле по изопакам фотографического слоя. По-видимому, такое расхождение можно объяснить, если предположить, что в микрокристаллах галогенида серебра, кроме центров скрытого изображения, имеются другие центры захвата электронов. Наличие каких-либо электрооакцепторных центров может привести к эффективному уменьшению энергии активации регрессии, если учитывать возврат электронов в центры скрытого изображения при высоких температурах.

Возвращаясь к данным рис. 4, видим, что точка пересечения прямых  $\ln \tau_k = \ln A_k + \frac{U}{kT}$  с осью ординат

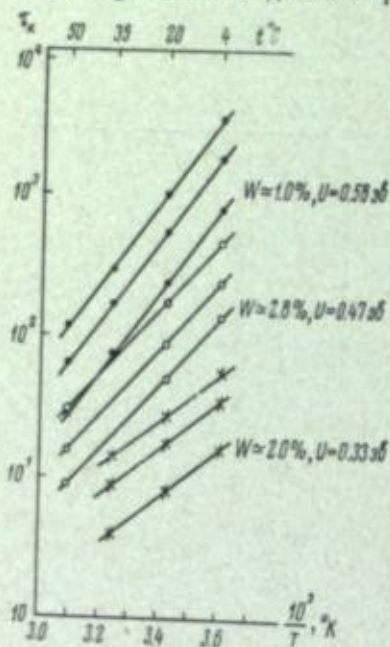


Рис. 4. Зависимость времени ( $\tau_k$ ), необходимого для регрессии определенной доли микрокристаллов от температуры ( $\frac{10^3}{T}$ ) при заданном содержании влаги в эмульсионном слое ( $W$ ).

Электрическое поле  $E$  диполя воды может проникать в кристалл галогенида серебра и создавать электрическое поле в кристалле  $E'$ , в  $\epsilon$  раз слабее  $E$

$$E' = \frac{E}{\epsilon}$$

где  $E'$  — электрическое поле в кристалле AgBr,  $E$  — электрическое поле дипольной молекулы (в вакууме),  $\epsilon$  — диэлектрическая постоянная AgBr.

В металл (например, в скопление атомов серебра) поле проникнуть не может, но если эти атомы создают отрицательную потенциальную ловушку на поверхности кристалла AgBr, то молекулы воды могут поляризовать центры скрытого изображения, изменяя расстояние между электронами и ионами и потенциальную энергию электронов. Существенно искажается форма ямы — может подняться ее дно, измениться ширина и т. д. Внешне это будет восприниматься как изменение энергии активации  $U$  и параметра  $A_k$  процесса (регрессии), что и наблюдается экспериментально. Увеличение предэкспоненциального множителя  $A_k$  можно

дает величину  $A_k$ .

Экспериментальные данные показывают, что  $A_k$  растет с увеличением влажности. Переход от малой влажности ( $\varphi=0\%$ ) к большой ( $\varphi=100\%$ ) как бы увеличивает время жизни центра. Иначе говоря, происходит эффективное «уширение» потенциальной ямы. Если рассматривать возможные взаимодействия влаги с микрокристаллами галогенида серебра, то, по-видимому, не вызывает сомнений, что действие влаги является типично поверхностным эффектом.

Отдельные молекулы воды (или их совокупность) могут диффундировать к поверхности кристалла AgBr сквозь желатину. Сама молекула воды имеет большой дипольный момент, равный  $P=1.87 \cdot 10^{-18}$  CGSE [9], т. е. ясно выраженные положительно и отрицательно заряженные полюсы.

Если на поверхности кристалла есть центры скрытого изображения со слабо связанными или свободными электронами, то, вероятно, молекула воды встанет положительным полюсом к такому центру (это выгоднее энергетически).

рассматривать, как эффективное уширение потенциальной ямы. Правда, это уширение весьма велико (при регрессии в сотни раз) и трудно представить реально такое уширение ямы.

По-видимому, определяющим для регрессии является не время собственно ухода электрона из потенциальной ямы атома серебра, а время захвата иона серебра, оставшегося в ловушке после ухода электрона.

Время миграции иона  $Ag^+$  до его нейтрализации может существенно зависеть от влаги. Электрическое поле диполей молекул воды направлено так, чтобы ускорить движение электрона, но при этом она ослабляет собственное электрическое поле электрона. Согласно теории Герни и Мотта [10], электрон притягивает ион  $Ag^+$  именно своим электростатическим полем. В присутствии влаги это поле ослабляется и соответственно уменьшается скорость движения иона.

Местные электрические поля (а следовательно, и поведение электронов и ионов на поверхности) очень сильно зависят от состояния поверхности микрокристалла — количества и характера примесей, видов нарушений решетки и т. д. Однако удаление влаги при данной температуре должно уменьшить деформацию потенциальных ям, т. е. замедлить процесс распада, а увеличение влажности — ускорить процесс распада; повышение температуры также ускоряет этот процесс. Для регрессии такая зависимость и наблюдается экспериментально.

Можно представить себе и несколько иной механизм влияния влаги. Подобно уровням десенсибилизатора [11], энергетические уровни воды могут быть расположены ниже зоны проводимости кристалла галогенида серебра, но выше уровней центров чувствительности и скрытого изображения. Тогда освобождающиеся электроны будут захватываться в полосу проводимости воды, не попадая в полосу проводимости кристалла AgBr. Удаление влаги из слоя исключает из участия полосу проводимости воды, акцентирующей электроны.

Все это время существует некоторая вероятность того, что электрон из зоны проводимости вернется к центру скрытого изображения и тогда снова соединится с ионом серебра, так что регрессии не произойдет.

## Выводы

1. Регрессия есть процесс с энергией активации, зависящей от влажности эмульсионного слоя.
2. Увеличение влажности эмульсионного слоя приводит к эффективному понижению энергии активации процесса регрессии центров скрытого изображения.
3. Увеличение влажности приводит к эффективному уширению потенциальной ямы центра скрытого изображения.
4. Так как влияние понижения энергии активации сильнее влияния расширения потенциальной ямы, то в целом увеличение влажности ускоряет регрессию центров скрытого изображения.
5. Как влага, так и температура влияют на больцмановский фактор, но влияние воды внешне сказывается сильнее из-за большего диапазона изменения энергии активации ( $U$  меняется вдвое, а температура примерно на 20%) в данных условиях эксперимента.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. М. Романовская, К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 6, 1964.
- [2] Ж. Альбуи, Г. Фаражжи, Сб. «Фотографический метод в ядерной физике», ИЛ, М., 1952, 124.



- [13] R. W. F. Fisher, *J. Nuclear Energy, C*, **31**, 295, 1953.  
 [14] E. E. Kuznetsov, *Вестник высшей школы*, МИКФН, 1958.  
 [15] R. W. F. Fisher, *J. Opt. Soc. America*, **60**, 2, 1950.  
 [16] E. E. Kuznetsov, *Ж. физ. и прикл. физ.*, **23**, 217, 1952.  
 [17] A. N. Borstovskiy, *Ж. физ. и прикл. физ.*, **6**, 446, 1954, т. 57, 1962.  
 [18] A. N. Borstovskiy, A. N. Шур, *Ж. физ. и прикл. физ.*, **6**, 446, 1954, т. 57, 1962.  
 [19] E. E. Kuznetsov, *Видение и фотография*, Гостехиздат, М., 1957.  
 [20] E. E. Kuznetsov, R. B. Радия, *Электронные процессы в жидких кристаллах*, М., 1956, т. VII.  
 [21] A. S. Borstovskiy, A. N. Шур, *Ж. физ. и прикл. физ.*, **22**, 831, 1959.

А. Л. КАРТУЖАНСКИЙ, А. Ф. ЮРЧЕНКО,  
 Л. И. ШУР, Г. Г. МАРТЫШ

### РЕГРЕССИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

Известно, что за время между изготовлением и экспонированием фотоэмульсии ее чувствительность не остается постоянной. Это явление, часто называемое старением, в последние годы изучается весьма интенсивно и ему посвящена обширная литература (ее обзор см., например, в [1]). Однако изучение старения ведется неполно, в частности в гораздо меньшем объеме для ядерных эмульсий, нежели для оптических, и, как правило, для чувствительности не к частицам, а к свету. Таким образом, из опубликованных работ ядерная фотография может почерпнуть для себя очень немного.

Другим недостатком имеющихся данных является то, что почти все они получены в условиях ускоренного старения (в термостате при повышенной температуре), и ценность этих результатов для практических условий хранения — при комнатной или (чаще всего) при пониженной температуре — сомнительна.

Наконец, в литературе почти отсутствует сопоставление регрессии чувствительности и скрытого изображения на одних и тех же фотоэмульсиях и в одинаковых условиях. Между тем механизм регрессии скрытого изображения изучен довольно детально, и установление аналогии двух видов регрессии или отсутствия такой аналогии могло бы дать существенные сведения о механизме старения по отношению к действию частиц.

Частичное восполнение всех указанных пробелов и являлось целью данной работы.

Опыты были проведены наиболее полно на двух фотоэмульсиях — ядерной типа Р и оптической Панхром-10, а затем частично повторены на ядерной эмульсии типа Я-2, кинонегативной А-2, кинопозитивной МЗ и некоторых других, причем дали совпадающие результаты. Для экспонирования во всех случаях использовались засветки на сенситометре ФСР-41 (1/20 сек.) и облучение  $\alpha$ -частицами  $\text{Po}^{210}$  (через парадихлорный клин) и  $\beta$ -частицами  $\text{C}^{14}$  (через фольговый клин); на эмульсии типа Р осуществлялось также экспонирование релятивистскими частицами. Изучалось как хранение эмульсий после экспонирования, так и экспонирование их после хранения; первое соответствовало регрессии скрытого изображения, а второе — регрессии чувствительности. Условия хранения варьировались по температуре (+20, +5 и  $-5^\circ\text{C}$ ) и по относительной влажности (15, 45 и 75%).

Для проявления сначала использовались составы и режимы, совпадающие с практически применяемыми. В частности, для эмульсии типа Р



применялся амидоловый проявитель и сухой двухтемпературный цикл обработки, а для эмульсии Панхром-10 проявитель Чибисова (20° С, 8 мин.). На более поздней стадии работы по причинам, о которых будет сказано ниже, условия проявления были радикально изменены. После проявления сенситограммы измерялись на микрофотометре МФ-2. Все изменения чувствительности и скрытого изображения оценивались затем по изменению экспозиции, отвечающей плотности почернения 0.2 над вуалью.

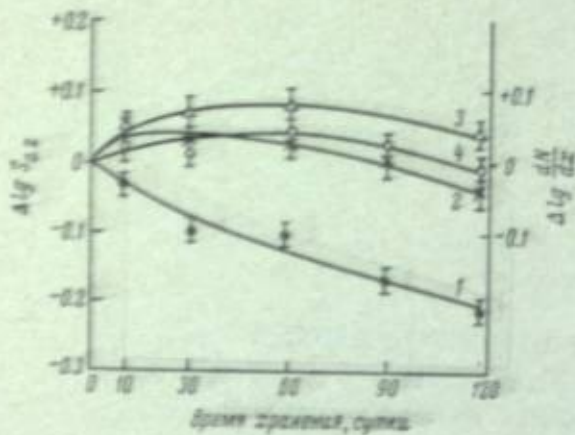


Рис. 1. Старение эмульсии типа Р по отношению к действию различных излучений. 1 — засветка 0.05 сек.; 2 — поток β-частиц С<sup>14</sup>; 3 — поток α-частиц Р<sup>210</sup>; 4 — радиоактивно загрязненная правая плетка.

Некоторые данные о влиянии температуры и влажности на получаемые результаты представлены на рис. 3 и 4. Кривые, в общем сходные с кривыми рис. 1—4, были получены и для других эмульсий. Наиболее важными особенностями этих кривых нам представляются следующие.

Прежде всего для всех эмульсий чувствительность к свету во время хранения только понижается, причем с увеличивающейся скоростью. Такая закономерность вполне соответствует так называемому аномальному типу старения, причем наблюдаемая картина соответствует ему в по другому характерному признаку — постоянству уровня вуали во время хранения. Между тем чувствительность к α-излучению (особенно к β-излучению) изменяется совсем иным образом, протекая через отчетливо выраженный максимум. Попробуем заметить, что высота и величина максимумов зависят от температуры и относительной влажности. Чем больше температура и влажность, тем больше высота и величина максимумов. При этом так называемый пороговый эффект (дозирования) эмульсий старения по двум причинам становится все более нормальным: во-первых, в условиях хранения, близких к нормальным, во-вторых, вследствие увеличения скорости проявления через максимумы, тем быстрее было бы достигнута та же величина проявления, тем быстрее достигнута бы пороговая величина проявления.

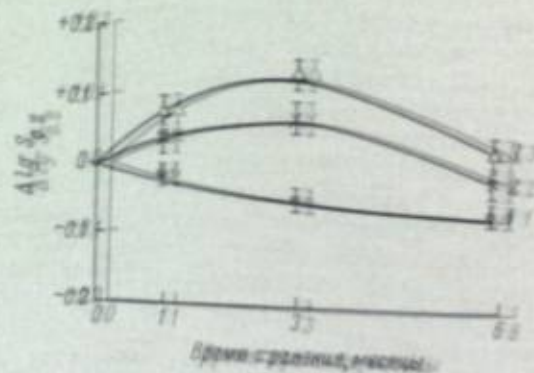


Рис. 2. Старение эмульсии Панхром-10 по отношению к действию различных излучений. 1 — засветка 0.05 сек.; 2 — поток β-частиц С<sup>14</sup>; 3 — поток α-частиц Р<sup>210</sup>; 4 — радиоактивно загрязненная правая плетка.

ным типам, так как в образовании скрытого изображения под действием разных излучений участвуют одни и те же поверхностные центры чувствительности [2]. Тогда следует считать, что в наших опытах все результаты в той или иной степени замаскированы наложением старения какого-то иного типа, до сих пор не описанного. Каким оно может быть, оставалось неясным до тех пор, пока мы по совету В. И. Шеберстова не провели серию опытов по изучению старения при раздельном поверхностном и глубинном проявлении.

Для поверхностного проявления использовался глициновый проявитель без сульфита (глицин 2.5 г/л, безводная сода 12 г/л), а для глубинного — метоловый проявитель № 2 по ГОСТ, содержащий 125 г/л сульфита; до глубинного проявления поверхностные центры отбеливались раствором бихромата калия (2.5 г/л) с добавлением 94-процентной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0.5 мл/л).

Типичным результатом всех опытов с таким проявлением могут служить кривые на рис. 5 и 6, показывающие, что прохождение чувствительности через максимум не наблюдается для поверхностных центров чувствительности и обусловлено исключительно участием глубинных центров. Однако сам по себе этот факт еще недостаточен для понимания механизма старения, если не привлечь к рассмотрению данные, полученные при изучении регрессии скрытого изображения на тех же эмульсиях.

В общих чертах кинетические закономерности регрессии скрытого изображения и регрессии чувствительности оказались одинаковыми. Иногда кривые для обоих явлений просто совпадали, но обычно скорость регрессии скрытого изображения была большей, чем регрессии чувствительности, особенно в ядерных эмульсиях (последнее отмечалось и в [3]). Такие различия видны и при сравнении рис. 7 с рис. 6, особенно для α- и β-излучений.

Важно, однако, отметить другое: в тех случаях, когда кривые старения обнаруживали максимум, кривые регрессии скрытого изображения тоже его обнаруживали. Если же изучать регрессию скрытого изображения при раздельном поверхностном и глубинном проявлении, то максимум наблюдался, как и в случае регрессии чувствительности, только для действия частиц и только при глубинном проявлении (см. пример на рис. 7). Более подробно данные о регрессии скрытого изображения при раздельном проявлении изложены нами в другом месте [4], и там же предложена их интерпретация, которую целесообразно здесь вкратце напомнить.

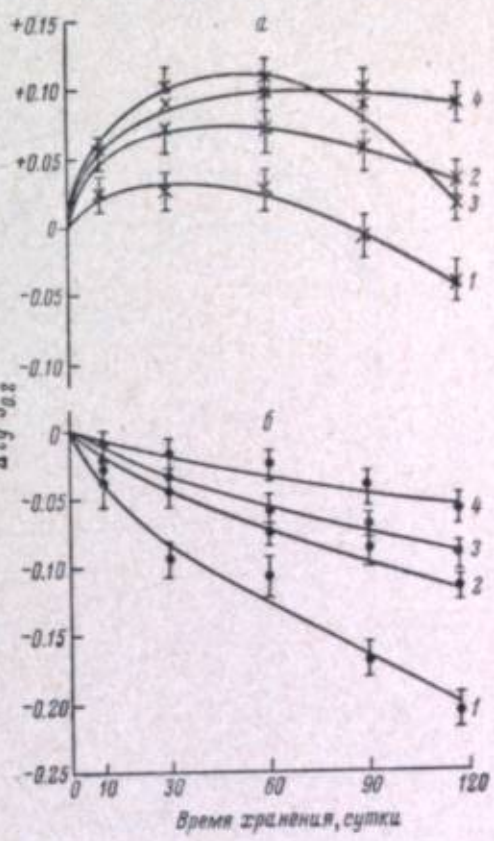


Рис. 3. Старение эмульсии типа Р при разных условиях хранения. а — по отношению к действию β-излучения С<sup>14</sup>; б — по отношению к действию света. 1 — +20° С, относительная влажность 15%; 2 — +20° С, относительная влажность 45%; 3 — +5° С, относительная влажность 15%; 4 — +5° С, относительная влажность 45%.



Как оказалось, регрессия представляет собой не только рассасывание, но и перераспределение скрытого изображения, точнее переход его с поверхности в глубину микрокристаллов. Поэтому на поверхности, где центры только разрушаются, ход регрессии должен быть монотонным, а в глубине, где разрушению противостоит дополнение центров за счет поверхностного серебра, ход может быть и немонотонным.

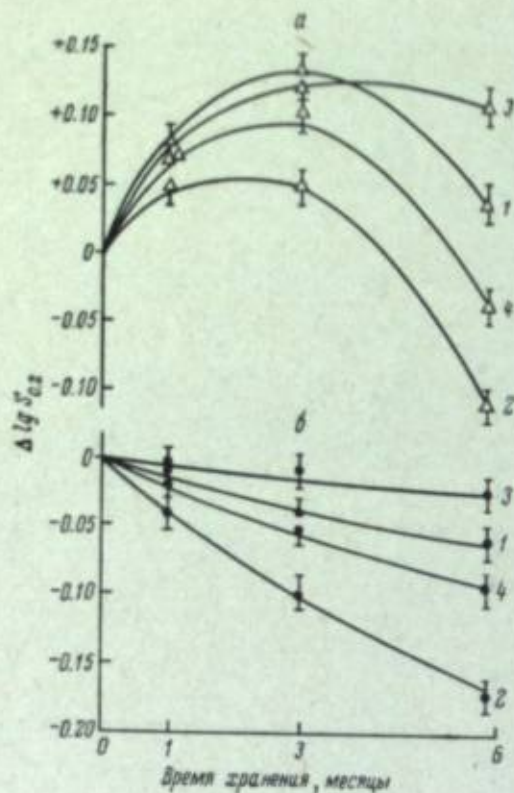


Рис. 4. Старение эмульсии Панхром-10 при разных условиях хранения.

a — по отношению к действию  $\beta$ -излучения  $^{90}\text{Sr}$ ; б — по отношению к действию света. 1 —  $+20^\circ\text{C}$ , относительная влажность 45%; 2 —  $+20^\circ\text{C}$ , относительная влажность 75%; 3 —  $+5^\circ\text{C}$ , относительная влажность 45%; 4 —  $+5^\circ\text{C}$ , относительная влажность 75%.

чувствительности могут перераспределяться между поверхностью и объемом микрокристаллов во время хранения, подобно тому как это происходит с центрами скрытого изображения.

До последнего времени такое допущение могло считаться сомнительным, но недавно оно получило убедительное подтверждение в работе Чибисова с группой сотрудников Одесского университета [6]. Как было ими показано, каков бы ни был ход изменения поверхностной чувствительности во время созревания или нормального старения, ход глубинной чувствительности по отношению к нему всегда является зеркальным. Иными словами, увеличение одной из этих характеристик обязательно связано с уменьшением другой из них и наоборот, как и должно быть при перераспределении центров чувствительности. Нам вполне достаточен сам факт, а его возможный физико-химический механизм, предлагаемый в той же работе [6], здесь рассматриваться не будет.

Однако переход серебра с поверхности в глубину требует присутствия в микрокристалле мест для его закрепления, и если таких мест до перехода не было, то они не смогут появиться и после него. Вот почему немонотонный ход кривых не встречается для действия засветок нормальной длительности, образующего почти исключительно поверхностные центры. Легко понять также, почему высота максимума на рис. 7 много больше для а-, чем для  $\beta$ -излучения: в первом случае общая масса глубинных центров намного больше, чем во втором. Наконец, можно объяснить и повышение максимума с понижением температуры, если учесть существование еще одного явления — встречного перехода скрытого изображения из глубины на поверхность микрокристаллов, которое наблюдается только при температурах выше комнатной [5].

Как нетрудно видеть, если это объяснение перенести без изменений на случай регрессии чувствительности, то оно приводит с исчерпывающей полнотой охватить все изложенные выше факты. Для этого, однако, необходимо считать, что центры

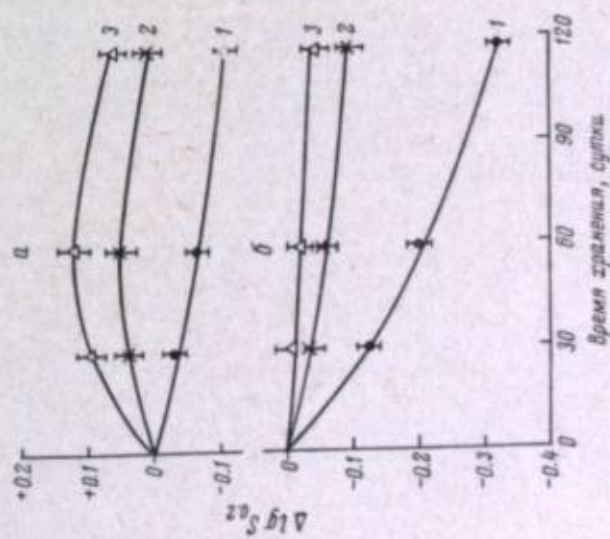


Рис. 5. Старение эмульсии типа Р при глубинном и поверхностном проионлении.

a — глубинное проионление; б — поверхностное проионление. 1 — засветка 0,05 сек.; 2 — поток  $\beta$ -частиц  $^{90}\text{Sr}$ ; 3 — поток  $\alpha$ -частиц  $^{210}\text{Po}$ .

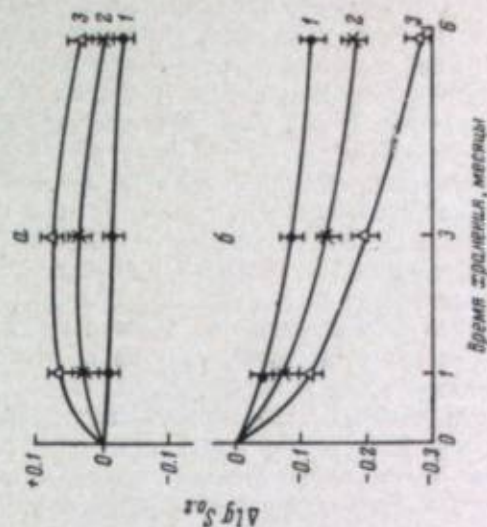


Рис. 7. Регрессия скрытого изображения в эмульсии Панхром-10 при глубинном и поверхностном проионлении.

См. обозначения на рис. 5.

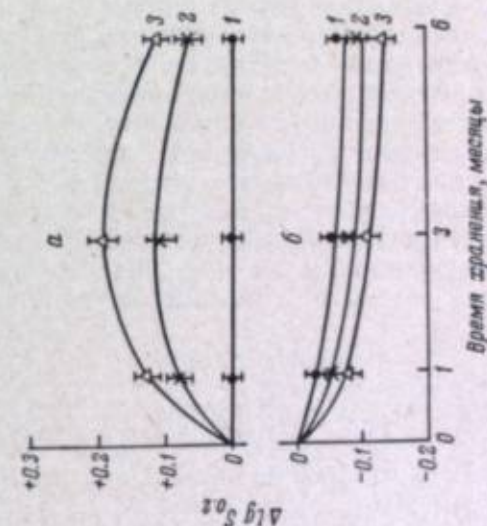


Рис. 6. Старение эмульсии Панхром-10 при глубинном и поверхностном проионлении.

См. обозначения на рис. 5.



Итак, будем считать, что старение любых исследованных нами эмульсий, как ядерных, так и оптических, протекает по аномальному типу при одновременном участии еще одного типа старения (назовем его «перераспределительным»). Если глубинные центры чувствительности, какими бы они ни были, не играют сколько-нибудь заметной роли при экспонировании эмульсии, то этот новый тип старения остается невыявленным. Именно так и обстоит дело при наблюдении за чувствительностью по отношению к засветкам нормальной длительности. Если же наличие глубинных центров в момент экспонирования имеет важное значение, то приобретает значение и то, каковы эти центры. Изменение глубинных центров за счет перераспределительного старения противоположно их изменению за счет аномального старения, и отсюда возникает немонотонный ход изменения глубинной чувствительности. Поскольку для действия частиц глубинные центры весьма существенны как места закрепления свободных электронов (мгновенная концентрация которых высока), то и ход кривых изменения чувствительности определяется взаимодействием обоих типов старения, чего в случае действия света нет.

Предположение о перераспределении центров чувствительности может, по-видимому, объяснить еще один интересный результат, оставшийся до сих пор необъясненным. Речь идет о работе Богомолова с сотрудниками [7], наблюдавших повышение чувствительности и значительное повышение стабильности ядерных эмульсий при их дополнительном (после созревания) прогреве. Если считать, что при повышенных температурах имеет место переход центров чувствительности из глубины на поверхность микрокристаллов и что при достаточно высокой температуре такой переход может даже превзойти обратный переход (для регрессии скрытого изображения подобные факты известны [5]), то результаты Богомолова легко объяснить укрупнением поверхностных центров чувствительности за счет глубинных со всеми вытекающими отсюда следствиями.

Авторы благодарны лаборантам Н. Б. Шляминой, Е. С. Филипповой и Е. И. Бологовой за помощь в проведении экспериментальной части работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. И. Шеберстов, Усп. научн. фотогр., 7, 25, 1960.
- [2] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 3, 81, 1958.
- [3] К. С. Богомолов, К. М. Романовская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 6, 1964.
- [4] А. Л. Картужанский, А. Ф. Юрченко, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 11, 161, 1966.
- [5] А. Л. Картужанский, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 10, 411, 1965.
- [6] А. Б. Пятницкая, Л. П. Мельничук, Ж. Л. Броун, К. В. Чибисов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 321, 1964.
- [7] К. С. Богомолов, М. Ю. Дебердеев, К. М. Романовская, Докл. на конф. по ядери. фот., ОИЯИ, Дубна, дек. 1963 г.; Сб. докладов, изд. ОИЯИ, № 1749, 1964, 16—18.

А. П. ЖДАНОВ, И. М. КУКС

### ПРЯМОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МИКРОКРИСТАЛЛОВ К ЗАРЯЖЕННЫМ ЧАСТИЦАМ

#### Метод определения

Как известно из литературы, посвященной обоснованию и разработке полупроводниковых детекторов излучения, заряженная частица, тормозящаяся в твердом теле, затрачивает на образование неравновесной пары носителей одну и ту же порцию энергии, независимо от ее массы, заряда и скорости. Поэтому естественно определить чувствительность микрокристаллов ядерных эмульсий к любым заряженным частицам как граничную энергию электрона, начиная с которой торможение электрона внутри микрокристалла до остановки образует в нем центр проявления. Найти эту пороговую порцию энергии можно, например, по фотографической эффективности действия электронов различных энергий на однослойный препарат исследуемой эмульсии.

В наших опытах производилось облучение последовательности полей на одном препарате, причем энергия электронов увеличивалась от 100 до 800 эв, а плотность облучения оставалась постоянной,  $\sim 0.1$  электрона/микрокристалл. Столь малая плотность облучения позволяла пренебречь вероятностью кратных попаданий электронов в микрокристалл, так что микрокристаллы одного поля либо получали вполне определенную порцию энергии, либо не получали ничего. После проявления препарата счетом зерен под микроскопом находилась зависимость выхода проявленных зерен от энергии электронов. Полученную таким образом зависимость можно отождествить с интегральной формой распределения микрокристаллов по чувствительности, если препарат для испытаний отвечает требованиям, формулируемым далее.

#### Установка для облучения препаратов

На рис. 1 приводится схема установки для облучения. Электроны из катода (1), пройдя сквозь щель электрода (2), управляющего интенсивностью пучка, искривляют свои траектории в поле электрода (3) и попадают затем в пространство ускорения (4—5). За щелью электрода (5) электроны формируются в узкий монохроматический пучок с постоянной плотностью. Такая сложная система необходима для защиты препарата от действия света, излучаемого катодом. Препарат (6) помещается на подвижную каретку (7), которая одновременно служит ловушкой Фарадея при измерении интенсивности пучка, проходящего через ускоряющую щель (5). Перед облучением очередного поля каретка ставится отвер-



ствием против ускоряющей щели, переключатель перебрасывается в положение «регулировка». По показаниям вольтметра  $V$  и гальванометра  $I$  устанавливаются рабочие значения напряжения и тока. Затем переключатель

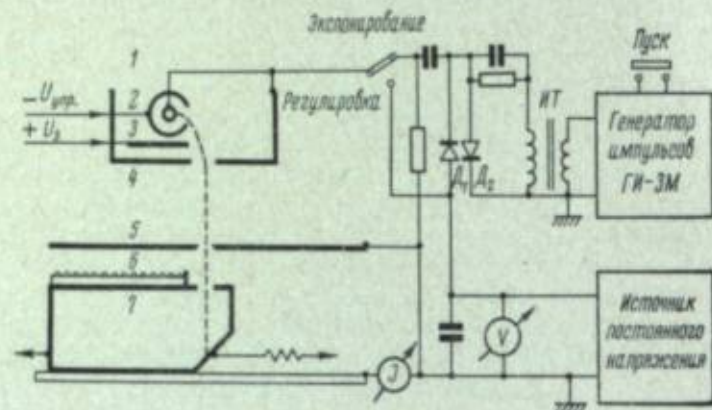


Рис. 1. Схема установки для облучения препаратов.

ставится в положение «экспонирование», в результате чего снимается ускоряющее напряжение с электродов. Каретку передвигают на следующее поле и нажимают кнопку «пуск». От кнопки срабатывает схема электронного ключа, на электроды подается импульс ускоряющего напряжения величиной  $V$ , обеспечивающий стандартную экспозицию.

#### Приготовление и обработка однослойных препаратов

Препараты для испытаний должны отвечать следующим требованиям.

1. Микрокристаллы в препарате должны располагаться с равномерной и не слишком большой плотностью для удобства счета под микроскопом. Оптимальная плотность составляет примерно 1 микрокристалл/ $\text{мк}^2$ .
2. Над микрокристаллами не должно быть слоя желатины, тормозящего электроны.
3. Чувствительность микрокристаллов в препарате должна быть той же, что и в исходной эмульсии.

Для получения препаратов оказалось удобным использовать следующий прием. Исходная эмульсия, разбавленная в 3000 раз дистиллированной водой, поливалась на двукратно подслоенные стекла из расчета 1 мл на каждые  $10 \text{ см}^2$  поверхности стекла. После отстаивания в течение 2—3 часов кристаллы  $\text{AgBr}$  под действием силы тяжести оседали вниз и прилипали к подслоенной поверхности. Затем вода вместе с растворенной в ней желатиной сливалась и препарат быстро высушивался.

Несмотря на то что для разбавления применялась дважды дистиллированная вода, кипяченая в течение часа и остуженная в мерной колбе, первые опыты не дали воспроизводимых результатов по чувствительности. В дальнейшем была сконструирована специальная герметичная камера, внутри которой в атмосфере любого газа проводились стадии отстаивания, слива и даже сушки. В ходе этих опытов выяснилось следующее:

1. Основным фактором, влияющим на чувствительность препаратов при «открытом» способе получения, является захват  $\text{CO}_2$  из атмосферы.
2. Наличие кислорода внутри камеры не влияет на чувствительность получаемых препаратов.
3. Для получения препаратов с воспроизводимой чувствительностью достаточно поддерживать постоянными:

- а) концентрацию при разбавлении,
- б) рН воды, применяемой для разбавления,
- в) рН раствора при подслаивании стекол.

Влияние перечисленных факторов сводится к следующему:

а) равномерная плотность препарата получается в интервале рН водных растворов от 5 до 8,8; вне этой области полного оседания микрокристаллов из раствора не происходит;

б) чувствительность препаратов повышается с ростом рН раствора, причем в пределах точности измерения чувствительности (10%) влияние рН обратимо;

в) за рН=9,0 начинается рост вуали, хотя после пребывания препарата в вакууме вуаль может появиться и в случае более низких значений рН, особенно если для титрования применялся  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; еще более резкий рост вуали наблюдается у препаратов, которые поливались с разбавлением большим, чем в 5000 раз;

г) увеличение концентрации микрокристаллов при поливе (разбавления меньше, чем в 3000 раз) дает более стабильную чувствительность препаратов, однако значительные изменения концентрации противоречат первому требованию.

#### Сравнение чувствительности микрокристаллов в однослойном препарате и в эмульсионном слое

На практике принято характеризовать чувствительность ядерной эмульсии числом проявленных зерен на 100 мк пробега следа частицы с определенной ионизирующей способностью. Для эмульсии Р-НИКФИ нормальной чувствительностью к релятивистским однозарядным частицам считается плотность 30 зерен/100 мк. Зная состав эмульсии и размеры непроявленных микрокристаллов, можно вычислить полное число их, задеваемых частицей в эмульсии на 100 мк пробега. Для эмульсии Р-НИКФИ таким образом получено 240 зерен/100 мк, откуда вероятность проявлений есть 30/240 или 1/8.

Вероятность проявления микрокристаллов в однослойном препарате при облучении перпендикулярно его поверхности электронами с энергией 1 Мэв на спектрометре Даныша мы вычисляли по известным значениям интенсивности пучка, исходной плотности и размерам микрокристаллов на препарате. Найденная таким путем вероятность позволяла перейти затем к обычной характеристике чувствительности — плотности проявленных зерен в следе релятивистской частицы. Опыты показывают, что в однослойном препарате, изменяя рН при разбавлении, можно получить чувствительность как ниже, так и выше нормальной.

#### Результаты эксперимента

На рис. 2 представлены экспериментальные результаты измерений выхода проявленных зерен под действием электронов 100—800 эв для четырех препаратов разной чувствительности. Препараты поливались на стекла, подслоенные одним и тем же раствором с рН=5,5, а рН воды при разбавлении доводился титрованием до значений 7,0; 7,8, 8,2 (нижние кривые). Результирующая средняя чувствительность соответствовала плотности в следе релятивистского электрона 10, 18 и 22 зерен/100 мк.

Точность измерения характеристики средней чувствительности составляла здесь 20%.

Верхняя кривая построена на основе данных двух испытаний. Чувствительность этих препаратов была повышена купанием образцов в водном растворе щелочи с рН=8,8. В этом случае непосредственного оп-



ределения чувствительности к релятивистским электронам не производилось, однако можно оценить нижнюю границу чувствительности в 35 зерен/100 мк. Горизонтальные пунктирные линии в левой части рис. 2

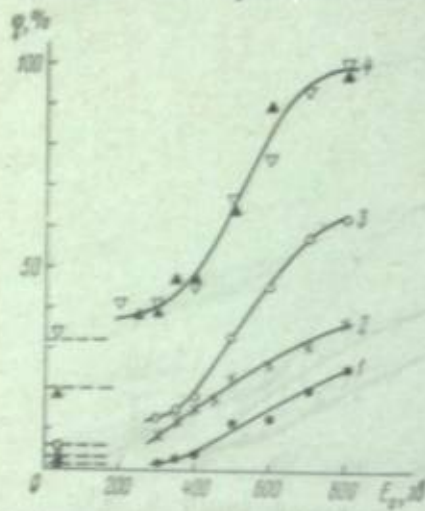


Рис. 2. Выход проявленных зерен как функция энергии электронов в пучке.

$g$  — эквивалентная плотность релятивистского следа с той же вероятностью проявления. 1 —  $g=10$ ; 2 —  $g=18$ ; 3 —  $g=22$ ; 4 —  $g > 35$  зерен  $> 100$  мк.

плотностью в среднем 3 электрона на микрокристалл.

Поправки на поглощение в этом слое мы надеемся получить из новых опытов, посвященных явлению взаимозаместимости при действии электронов, энергия которых не хватает для образования центра проявления при одиночном попадании в микрокристалл.

показывают уровни фона проявленных микрокристаллов для соответствующих образцов.

Как видно из рисунка, наши данные дают для порога чувствительности значительно большие величины, чем теоретические оценки, которые встречаются в литературе. Так, выход проявленных микрокристаллов под действием электронов 800 эв достигает 100% лишь для самых чувствительных препаратов, а при энергии электронов меньше 200 эв выход равен нулю.

Возможно, что в ходе приготовления препаратов над микрокристаллами остается слой желатин, достаточный для того, чтобы исказить результаты. Во всяком случае, он должен быть почти прозрачным для электронов с энергией 200 эв, потому что на препаратах, которым соответствует верхняя кривая, мы получили примерно 40-процентный выход проявленных зерен при действии пучка с энергией 200 эв.

А. П. ЖДАНОВ, И. М. КУКС

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МИКРОКРИСТАЛЛОВ AgBr ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ В ЭМУЛЬСИИ НИКФИ ТИП Р

### I. Методические особенности опытов и результаты измерений

Используя способ измерения чувствительности и технологию приготовления препаратов для испытаний, описанные ранее [1], мы провели серию опытов, результаты которых составляют предмет настоящей статьи; хотя методическая часть работы в основном осталась прежней, были осуществлены некоторые ее усовершенствования, в первую очередь в области технологии приготовления однослойных препаратов.

Как уже было показано в [1], оседание микрокристаллов из раствора на поверхность подслоенного стекла происходит в некоторой области pH раствора, ограничивающей возможность повышения чувствительности препаратов. В новых опытах мы установили, что микрокристаллы полностью оседают и надежно сцепляются с подслоем при значениях pH раствора, лежащих вблизи изоэлектрической точки желатин.

Поэтому оказалось выгодным при разбавлении эмульсии перед поливом щелочь не вводить, а чувствительность препарата изменять купанием в ванне определенного pH, куда препараты опускаются сразу же после слива перед высушиванием. Купание влажных препаратов в ванне было полезным и в том отношении, что с поверхности микрокристаллов смывались следы растворимой желатин (к последнему вопросу мы еще вернемся в разделе II настоящей работы). Чтобы затормозить рост вуали, в ванну добавлялся KBr в количестве  $5 \cdot 10^{-3}$  г/л. Изменяя pH ванны от 4.0 до 9.0, мы получили препараты с чувствительностью, соответствующей 10—45 проявленным микрокристаллам в следе частицы минимальной ионизации. Вне этой области возможность измерений ограничивалась в области высокой чувствительности резким ростом вуали и неустойчивостью чувствительности препаратов, а в области низкой чувствительности тем, что порог активации подавляющей части микрокристаллов оказывался выше максимальной энергии электронов нашего прибора (1200 эв).

Препараты каждого полива подвергались следующим испытаниям («полные испытания»).

1. Измерение светочувствительности, которая определялась долей проявленных зерен при стандартной экспозиции.
2. Определение чувствительности препарата к частицам минимальной ионизации. В этом случае путем, указанным в [1], находилась линейная плотность проявленных зерен в следе частицы  $g/100$  мк.
3. Определение зависимости  $\phi(E)$  — выхода проявленных микрокристаллов под действием электронов с энергией от 100 до 1200 эв.



Величина  $g$  находилась по данным счета зерен под микроскопом со статистической неточностью не более 5%. Остальные характеристики снимались фотометрическим путем. Фотометрирование производилось на микрофотометре МФ-1. Заменяя комплектные объективы ( $10\times$ ) на  $3\times$  и питая лампу от батареи аккумуляторов при тщательном отборе для полива подслоенных стекол, защите измеряемых препаратов от пыли и других предосторожностях, мы добились повторяемости результатов

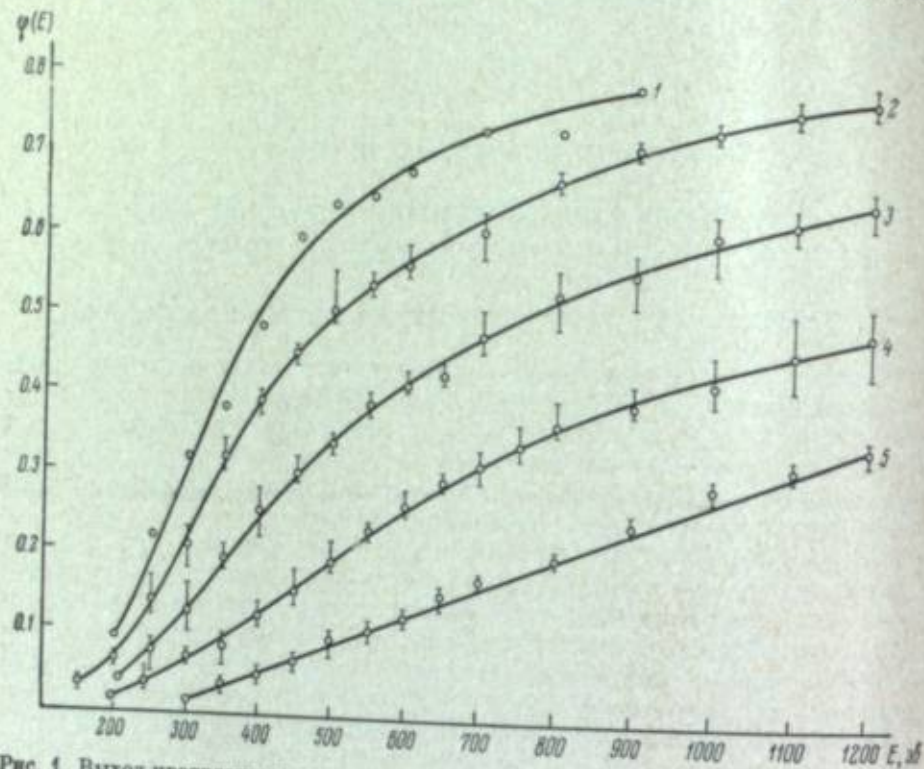


Рис. 1. Выход проявленных зерен под действием медленных электронов для эмульсий. Эмульсия с предельной чувствительностью — кривая 1; с чувствительностью  $g=42.5 \pm 2.5$ ;  $26.4 \pm 2.4$ ;  $14.5 \pm 0.5$ ;  $9.5 \pm 0.5$  зерен на 100 мк — кривые 2, 3, 4, 5 соответственно.

фотометрирования оптических плотностей в пределах 0.005. Максимальная плотность проявленных образцов составляла обычно 0.2. Прямыми измерениями на препаратах кратного разбавления эмульсии мы установили постоянство фотометрического эквивалента зерна вплоть до  $D=0.3$ . Остановимся теперь на воспроизводимости опытных данных. При работе с однослойными препаратами наблюдается широкий разброс результатов измерений, превышающий возможные ошибки измерений и нестабильность экспозиции, который тесно связан с разбросом чувствительности как в пределах одного полива, так и в пределах одного образца. Кроме того, чувствительность однослойного препарата нестабильна во времени. Чувствительность препаратов с  $g < 20$  понижается, а с  $g > 25$  заметно повышается уже через сутки. Степень нестабильности препарата резко растет с температурой и особенно велика для высокочувствительных образцов. Любопытно отметить, что скорость роста вуали и светочувствительности выше, чем чувствительности к электронам, так что у двух образцов (старого и нового) с одинаковой светочувствительностью величина  $g$  оказывается меньше у старого образца. Если для испытаний на  $\phi(E)$  и  $g$  брать средние части пластинок, а края препаратов использовать для контроля светочувствительности, причем образцы для испытаний

подвергать тщательному отбору и сами испытания на  $\phi(E)$  и  $g$  проводить одновременно, можно значительно улучшить повторяемость результатов. Испытание полива считалось удачным, и их результаты принимались во внимание, если на образцах одного полива были получены по крайней мере две пары значений  $\phi(E)$  и  $g$ , согласующиеся между собой.

На рис. 1 представлены зависимости выхода проявленных микрокристаллов под действием электронов с энергией 100—1200 эв. Эти зависимости  $\phi(E)$  разбиты на 5 групп по средней чувствительности, соответствующей (снизу вверх)  $g=9.5 \pm 0.5$ ;  $14.5 \pm 0.5$ ;  $26.4 \pm 2.4$ ;  $42.5 \pm 2.5$  проявленным микрокристаллам на 100 мк пробега релятивистской однозарядной частицы. Верхняя кривая построена по данным единственного опыта — на образце предельной чувствительности. Вуаль в этом случае составляла 20% от максимально возможной плотности, что не позволяло оценить  $g$  сколько-нибудь точно. Точки на остальных кривых являются результатами усреднения данных трех (кривая 2), пяти (кривая 3), четырех (кривая 4) и двух (кривая 5) опытов. Вертикальными черточками показан максимальный наблюдаемый экспериментальный разброс точек. Черный прямоугольник в левой верхней части рисунка соответствует ошибкам измерительных приборов. Наблюдаемые зависимости  $\phi(E)$  в общем подобны первым результатам работы [1] (нужно учесть, что ординаты рис. 2 в [1] представляют относительные плотности полей облучения над плотностью вуали). Не останавливаясь подробно на анализе результатов, что будет сделано в следующих разделах, отметим одно свойство  $\phi(E)$ , важное для дальнейшего. Как видно из рис. 1, в кривых можно выделить две части: быстрого роста (при малых энергиях) и медленного роста (при больших энергиях). Продолжая крутой участок кривой до пересечения с осью абсцисс, мы видим, что эти прямые (по крайней мере для четырех верхних кривых) пересекаются вблизи точки 170 эв. Эту точку на оси энергий мы будем в дальнейшем называть пороговой чувствительностью эмульсии.

## II. Оценка влияния адсорбированной желатины

В фотографической литературе широко известно, что в осаждаемой из эмульсии фазе бромистого серебра присутствует в небольших количествах желатина, которая не может быть удалена путем многократных промываний водой. Принято считать, что эта желатина прочно адсорбируется на поверхности микрокристалла. Для эмульсии НИКФИ-Р количество остаточной желатины составляет 1% по весу от бромистого серебра, что дает толщину адсорбированного слоя  $\sim 3 \cdot 10^{-7}$  г/см<sup>2</sup>.

Возможно, что этот слой искажает наши результаты. Влияние тормозящего слоя должно особенно сказываться при малых энергиях и смещать нашу оценку пороговой чувствительности вправо от ее истинного значения. Действительно, сравнив значение пороговой чувствительности 170 эв с ее оценками в наших первых опытах на препаратах, изготовленных старым способом, без промежуточной ванны, мы убеждаемся в том, что присутствие небольших добавочных количеств желатины вполне ощутимо (см., например, кривые, приведенные в [1]; пороговую чувствительность здесь следует находить продолжением кривой до линии вуали).

Оценим количественно влияние адсорбированной желатины на ход зависимости  $\phi(E)$ . Для этого рассмотрим данные опыта по облучению препарата электронами через пленку коллодия  $4 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>2</sup> (кривая 1, рис. 2, а) и  $8 \cdot 10^{-6}$  г/см<sup>2</sup> (кривая 2 того же рисунка). Точки на рисунке — результат усреднения по двум опытам. Верхняя кривая соответствует



облучению препарата без пленки. Как видно из рис. 2, а, порог смещается от 170 до 600 и 820 эв соответственно.

Пробег заряженной частицы в веществе ( $R$ ), как известно, связан с энергией частицы ( $E$ ) степенной зависимостью

$$R = aE^\gamma, \quad (1)$$

где  $a$  и  $\gamma$  — некоторые постоянные. Это уравнение можно переписать в следующей эквивалентной форме:

$$t_2 - t_1 = -a(E_2^\gamma - E_1^\gamma), \quad (1a)$$

где  $E_1$  и  $E_2$  — пороговые энергии, соответствующие толщинам тормозящего слоя  $t_1$  и  $t_2$ . Подставляя сюда данные из рис. 2, а, получаем два уравнения для определения  $a$  и  $\gamma$ . Разрешив их, находим  $\gamma=2$  и  $a=1.25 \cdot 10^{-11}$  г/см<sup>2</sup>[эв]<sup>2</sup>.

Полученное таким образом соотношение пробег — энергия позволяет легко найти поправки к энергии электронов на торможение в адсорбированной желатине. Эти поправки оказываются равными 10 эв для начальной энергии 1000 эв и 25, 30, 45 эв для 500, 400 и 300 эв соответственно, а исправленное значение пороговой чувствительности — 70 эв с областью допустимых значений

(вследствие ошибок эксперимента) в пределах от 0 до 110 эв. Таким образом, учет тормозящего влияния желатины существен только для начального участка зависимости  $\varphi(E)$ . Однако можно указать достаточно веские аргументы в пользу того, что наблюдаемые на опыте зависимости  $\varphi(E)$  (и вместе с тем порог чувствительности) вообще не нуждаются в исправлении, связанном с присутствием желатины на поверхности микрокристалла. Большая сила адсорбции не позволяет считать микрокристалл независимым в энергетическом отношении от слоя желатины на его поверх-

ности. Наоборот, множество фактов из области как физики твердого тела, так и самой фотографии (адсорбированный краситель при оптической сенсibilизации) свидетельствует о том, что адсорбированный слой на поверхности кристалла может передавать свое возбуждение внутрь системы в виде электронов проводимости. Подход такого рода будет тем более оправдан, чем больше сила адсорбции.

В этой связи рассмотрим данные наших опытов по сдвигу пороговой чувствительности препаратов, выкупанных в подслое (рис. 2, б). Опыты

были поставлены с тем, чтобы, оценив толщину желатинового слоя подслоеного стекла по отношению к размеру микрокристалла, судить о возможности экранирования последнего желатиной подслоем, что могло бы быть для слоя толще диаметра микрокристалла. Однослойные препараты купались в подслое (3.3 г желатины, 0.45 г калиевых квасцов и 40 мл спирта на литр воды) один раз (кривая 1), два раза (кривая 2), три раза (на рис. 2, б не показано) и четыре раза (кривая 3, рис. 2, б). После купания образцы сушились в вертикальном положении. Точки на рис. 2, б — результат усреднения двух независимых опытов. Полученные значения граничной чувствительности (340, 400, 470 эв) дают по формуле (1a) следующие оценки прироста желатины на поверхность микрокристаллов: 10.0; 6.5; 7.0 · 10<sup>-7</sup> г/см<sup>2</sup>. Подчеркнем, что последняя величина относится к приросту в результате третьего и четвертого купания (отделить вклад третьего купания в общем приросте не удалось вследствие ошибок эксперимента). Таким образом, налицо резкая нелинейность роста желатинового покрытия микрокристаллов, свидетельствующая о больших силах адсорбции, действующих на молекулы желатины даже со стороны кристалла, уже захватившего мономолекулярный слой. В тем большей связи с кристаллом должны находиться молекулы желатины первого (остаточного) слоя.

В заключение этого раздела упомянем о нашей попытке удалить остаточный слой желатины купанием препарата в пепсине. Купание образцов в желудочном соке вызвало резкую десенсибилизацию, которая могла быть скомпенсирована последующей щелочной ванной. Однако получить какие-либо данные нам не удалось вследствие малого «времени жизни» такого препарата (половина зерен вуализуется уже через час — полтора).

### III. Поправки на неупругое отражение электронов от микрокристаллов

В этом разделе будет показано, как, учитывая процесс неупругого отражения электронов, по экспериментально наблюдаемой зависимости  $\varphi(E)$  можно найти истинное распределение микрокристаллов по чувствительности  $F(E)$ .

Среди электронов, отраженных от поверхности кристалла, принято различать (см., например, [2]) «истинно вторичные» электроны с энергией от 0 до 50 эв, упруго отраженные электроны (без потери энергии) и неупруго отраженные с энергиями от 50 эв до энергии первичного электрона.

Потоком упруго отраженных электронов (2—3% начиная с 150 эв) можно пренебречь. Энергия, уносимая «истинно вторичными» электронами (резкий максимум их спектра вблизи 2—5 эв) также для нас несущественна. Напротив, роль неупруго отраженных электронов при вычислении энергии, фактически получаемой микрокристаллом, может быть велика. Коэффициент неупругого отражения электронов  $\eta(E)$ , который измеряется отношением их потока к потоку первичных электронов, согласно [2] и более поздним работам [3, 4] для электронов с  $Z > 30$ , является возрастающей функцией энергии в области от 100 до 600—700 эв, а далее, вплоть до 5 кэв остается постоянным. Согласно тем же работам, коэффициент  $\eta$  слабо зависит от угла падения первичного пучка на образец и почти не зависит от состояния его поверхности. Величина  $\eta$  для серебра измерялась многими авторами; мы используем его максимальное значение, равное 0.6 в области насыщения [3]. Для брома коэффициент  $\eta$  находился по интерполяционной кривой из работы [5] и принят равным 0.35. Важными для дальнейшего являются особенности спектра неупруго отраженных электронов (см. [2, 3, 6]). Форма спектра  $P(\epsilon, E) d\epsilon$  зависит от энергии первичного электрона  $E$  довольно слабо. Спектр содержит плоскую часть

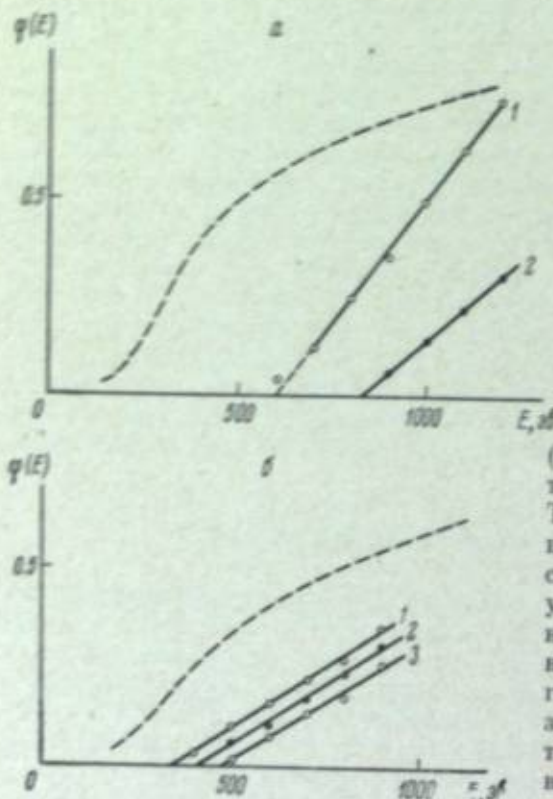


Рис. 2. Действие электронов на однослойные препараты через органические пленки. а: коллоиды  $4 \cdot 10^{-4}$  г/см<sup>2</sup> (кривая 1) и  $8 \cdot 10^{-4}$  г/см<sup>2</sup> (2); б: пленки желатины, полученные на образцах купанием в подслое один раз (1), два раза (2) и четыре раза (3). Пунктирные кривые на рисунке — действие электронов на образец без покрытия.

ности. Наоборот, множество фактов из области как физики твердого тела, так и самой фотографии (адсорбированный краситель при оптической сенсibilизации) свидетельствует о том, что адсорбированный слой на поверхности кристалла может передавать свое возбуждение внутрь системы в виде электронов проводимости. Подход такого рода будет тем более оправдан, чем больше сила адсорбции.

В этой связи рассмотрим данные наших опытов по сдвигу пороговой чувствительности препаратов, выкупанных в подслое (рис. 2, б). Опыты



(область равномерного распределения) и подъемы слева (у 50 эв) и справа (у  $E$ ). Большая часть электронов содержится в области равномерного распределения. Для наших целей достаточно аппроксимировать весь спектр равномерным распределением, т. е.  $P(\varepsilon, E) d\varepsilon = \frac{d\varepsilon}{E}$  во всей области от 0 до  $E$ .

Найдем теперь уравнения, связывающие  $\eta(E)$ ,  $\varphi(E)$  и искомую функцию распределения  $F(E)$ . Наблюдаемые значения  $\varphi(E)$  содержат вклад как

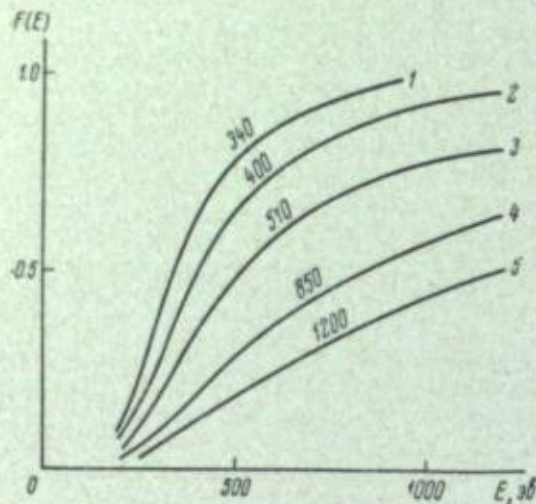


Рис. 3. Функции распределения микрокристаллов по чувствительности для эмульсий разной чувствительности (результаты расчета по экспериментальным данным, приведенным на рис. 1).

Цифры у кривых соответствуют значениям распределений (в эв).

Доля электронов первой группы будет  $[1 - \eta(E)]$ . Эти электроны активируют часть микрокристаллов с порогом чувствительности ниже их энергии, т. е.  $F(E)$  из всех задетых зерен. Поэтому вклад электронов первой группы будет  $[1 - \eta(E)] F(E)$ .

Число электронов второй группы вблизи энергии  $\varepsilon$  пропорционально  $\eta(E) P(\varepsilon) d\varepsilon$ . В этом случае активируются кристаллы с порогом не выше энергии, оставленной в кристалле, т. е.  $F(E - \varepsilon)$ . Выход проявленных микрокристаллов под действием электронов мы найдем, интегрируя произведение  $\eta(E) P(\varepsilon, E) d\varepsilon F(E - \varepsilon)$  по всем возможным значениям  $\varepsilon$ . Окончательное уравнение таково:

$$\varphi(E) = [1 - \eta(E)] F(E) + \eta(E) \int_0^E P(\varepsilon, E) F(E - \varepsilon) d\varepsilon \quad (1)$$

или в более удобной форме (заменяя переменную интегрирования  $E - \varepsilon$  на  $\varepsilon$ )

$$\varphi(E) = [1 - \eta(E)] F(E) + \eta(E) \int_0^E P(E - \varepsilon, E) F(\varepsilon) d\varepsilon. \quad (2)$$

Вспомним теперь, что для наших целей с достаточной точностью

$$P(\varepsilon, E) = P(E - \varepsilon, E) = \frac{d\varepsilon}{E}.$$

Тогда интегральное уравнение (2) может быть сведено к линейному дифференциальному уравнению, окончательный вид которого следующий:

$$F'(E) + \beta F(E) = \alpha \varphi'(E) + \beta \varphi(E), \quad (3)$$

где

$$\alpha = \frac{1}{1 - \eta(E)} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{1}{E(1 - \eta)} \left(1 - \frac{\eta'E}{\eta}\right).$$

Решения этого уравнения для пяти экспериментальных функций  $\varphi(E)$ , уже приводившихся ранее (рис. 1), представлены на рис. 3. Как видно из сравнения рис. 1 и 3, процесс неупругого отражения электронов приводит к распределению зерен по чувствительности, значительно отличающемуся от наблюдаемой на опыте зависимости  $\varphi(E)$ ; однако граничная чувствительность остается неизменной.

#### IV. Выводы

1. Впервые экспериментальным путем получены распределения микрокристаллов по величине пороговой энергии активации, соответствующие эмульсиям с чувствительностью 42, 26, 17 и 9.5 проявленных зерен на 100 мк следа частицы с минимальной ионизацией. Результирующие кривые исправлены с учетом всех систематических ошибок, присущих методу.

2. Неоднородность микрокристаллов по чувствительности для ядерных эмульсий, способных регистрировать электроны, велика. Ширина распределения, наблюдаемая экспериментально, не может быть обязана какому-либо источнику систематических ошибок и определяется природой чувствительности микрокристаллов.

3. Порог чувствительности эмульсий не зависит от их средней чувствительности. С большой долей достоверности величина порога чувствительности ядерных эмульсий составляет  $170 \pm 15$  эв.

4. Распределение микрокристаллов AgBr по чувствительности тем шире, чем менее чувствительна эмульсия к релятивистским частицам.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить глубокую благодарность И. П. Пржемынской за повседневную помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. П. Жданов, И. М. Кукс, настоящий сборник, 49.
- [2] Г. Брюнинг. Физика и применение вторичной электронной эмиссии, ИЛ, М., 1958.
- [3] Т. Л. Мацкевич, Ж. техн. физики, 27, 287, 1957.
- [4] И. М. Бронштейн, Р. В. Сегаль, Физика тв. тела, 1, 1246, 1959.
- [5] И. М. Бронштейн, Б. С. Фрайман, Физика тв. тела, 3, 1122, 1961.
- [6] G. A. Nagger, Phys. Rev., 102, 340, 1956.



К. С. БОГОМОЛОВ, И. А. ФОМИНА, В. С. МАРКОВА

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА И ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФОТОЭМУЛЬСИЙ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ СОЗРЕВАНИЯ

Настоящая работа представляет собой продолжение серии работ, проведенных ранее [1—9] по исследованию фотографического действия электронов средних энергий.

Исследования проводились на электронном сенситометре с термостатированной кассетой и автоматическим модулятором экспозиции [5].

Энергия электронов варьировалась в пределах от 30 до 80 кэВ, интенсивность (плотность тока) электронного пучка от  $7.5 \cdot 10^{-15}$  до  $2.0 \cdot 10^{-10} \frac{a}{\text{см}^2}$ , температура при облучении от  $-60$  до  $+27^\circ\text{C}$ .

Объектом исследования служили две опытные серии фотоэмульсий (I и II). В первой серии чувствительность фотоэмульсий определялась как временем их химического созревания, так и специальной сенсibilизацией. Во второй серии эмульсии различались только временем химического созревания, которое варьировалось от 0 до 120 мин., т. е. до оптимума. Средний диаметр микрокристаллов для всех эмульсий  $\sim 1.0$  мк.

Одновременно с опытными фотоэмульсиями в качестве эталонных экспонировались спектральная пластинка типа I, для которой ранее [3, 4] были проведены подробные электронносенситометрические исследования, и микрорадиографические фотоэмульсии типов МК и МР-НИКФИ. Эти пластинки в последние годы получили широкое применение, кроме микрорадиографии, также в практике электронной микроскопии и электронографии, так как они обладают достаточной чувствительностью к электронам при высокой разрешающей способности.

Одним из преимуществ пластинок МК и МР является выполнение закона взаимозаместимости для времени действия и интенсивности электронного пучка [6, 7], что позволяет применять эти пластинки для количественных исследований с электронными пучками.

### 1. Основные электронносенситометрические показатели исследованных фотоэмульсий

Испытание I серии фотоэмульсий производилось при четырех значениях энергии электронов: 30, 45, 60 и 80 кэВ.

В таблице приведены значения чувствительности  $S$  эмульсий этой серии к электронам при различной энергии электронного пучка. Под чувствительностью  $S$  здесь понимается величина, обратная плотности заряда, необходимой для получения плотности почернения  $D=0.2$  над вуалью.

Номер эмульсии и сенсibilизации	Время второго созревания, мин.	Чувствительность к электронам $S_{D=0.2} = \frac{D=0.2}{q \cdot 10^{10}} \frac{\text{см}^2}{\text{кул}}$				$\frac{S_{80}}{S_{30}}$
		30 кэВ	45 кэВ	60 кэВ	80 кэВ	
1, сенсibil.	0	0.20	0.22	0.31	0.25	1.25
2 »	15	0.25	0.32	0.42	0.40	1.66
3 »	30	0.35	0.40	0.72	0.55	1.57
4 »	45	0.53	0.77	1.2	1.33	2.50
5 »	60	2.0	2.5	4.0	6.7	3.35
6 »	90	2.9	5.0	11.8	15.4	5.3
7 »	120	3.3	6.7	16.7	25.0	7.6
8, несенсibil.	0	0.18	0.22	0.28	0.24	1.33
10 »	60	0.48	0.59	0.87	0.67	1.40
11 »	120	1.43	2.8	3.3	5.0	3.5

Из таблицы можно сделать следующие выводы.

1. Чувствительность эмульсий к действию электронов возрастает с увеличением времени созревания, причем степень возрастания чувствительности выше для быстрых электронов (80 кэВ), чем для медленных

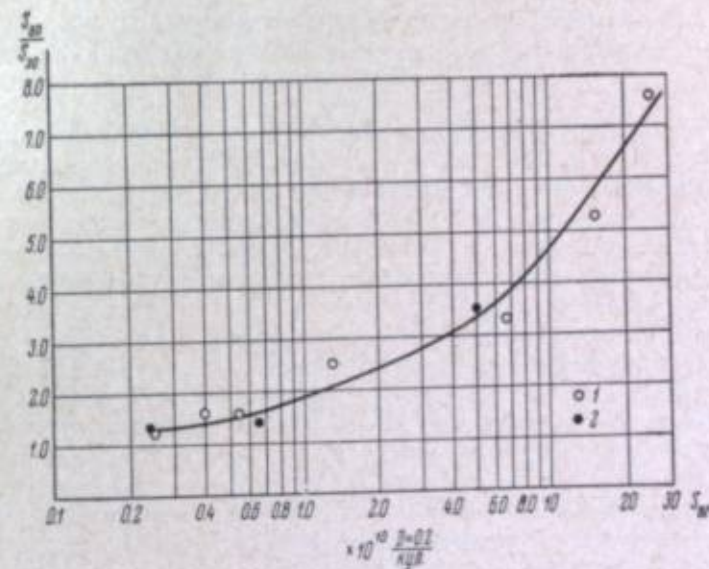


Рис. 1. Серия I. Кривая  $\frac{S_{80}}{S_{30}} = f(S_{30})$ .

1 — сенсibilизированные эмульсии; 2 — несенсibilизированные эмульсии.

(30 кэВ). В то время как чувствительность при 80 кэВ у полностью созревшей эмульсии в 100 раз больше, чем у эмульсий с нулевым временем созревания, чувствительность при 30 кэВ для тех же эмульсий возрастает лишь в 16 раз.

2. Сенсibilизированные эмульсии достигают при созревании более высокой чувствительности, чем несенсibilизированные при прочих равных условиях.

3. При малых временах созревания сколько-нибудь значительного различия для сенсibilизированных и несенсibilизированных эмульсий не наблюдается.



Для дальнейшего анализа полученных результатов был построен график (рис. 1), где на оси абсцисс отложена чувствительность к электронным энергиям 60 кэв, которую мы в данном случае отождествляем с мерой созревания эмульсии, а по оси ординат — отношение длины чувствительности к слабопопечеревшей (30 мкс) и сильнопопечеревшей (90 мкс) эмульсиям  $\frac{S_{30}}{S_{90}}$ .

- Кривая рис. 1 показывает следующие:
1. Отношение длины чувствительности к электронным 60 и 30 кэв возрастает с увеличением степени созревания эмульсии.
  2. Для сенсibilизированных эмульсий кривая продолжается в сторону больших значений степени созревания и увеличивается  $\frac{S_{30}}{S_{90}}$  дальше, чем для несенсibilизированных.
  3. При очень малой степени созревания наблюдается тенденция к постоянному асимптотическому значению соотношения  $\frac{S_{30}}{S_{90}}$ .

Результаты исследования зависимости чувствительности к электронным энергиям от степени созревания аналогичны полученным ранее К. С. Богомоловым с сотрудниками [8] на фотоэмульсионных друшвах (пленках).

### 2. Влияние интенсивности электронного пучка на чувствительность опытных фотоэмульсий. Закон взаимозаместимости

Для исследования влияния интенсивности электронного пучка на чувствительность опытных фотоэмульсий снимались электронные сенситограммы исследуемых эмульсий при различных значениях плотности тока в пучке. В наших опытах на одной пластинке можно было получать 4—5 сенситограмм, снятых при различных условиях экспонирования. Эти условия подбирались так, чтобы при помощи данной пластинки охватить весь интервал используемых интенсивностей. Для этого в пределах одной пластинки регистрировались 4—5 сенситограмм при сильно отличающихся друг от друга интенсивностях электронного пучка. На следующей пластинке данного сорта электронные сенситограммы снимались в той же области изменения интенсивностей, но при других промежуточных его значениях. Это делалось для того, чтобы избежать влияния случайных факторов, связанных с некоторыми различиями в свойствах пластинок данного сорта, которые всегда имеются, некоторыми отклонениями в процессе проявления и т. п. Окончательные расчеты производились по результатам обработки четырех или пяти пластинок, т. е. 12—16 сенситограмм, которые отличались друг от друга только интенсивностью электронного пучка. Все прочие условия были строго одинаковыми для всех сенситограмм.

По результатам обработки электронных сенситограмм строились кривые почернения исследуемых эмульсий при различных интенсивностях электронного пучка.

На рис. 2 и 3 для примера приведены такие кривые для эмульсий № 1 и № 7 из серии I опытных эмульсий при энергии электронов 60 кэв. Из этих рисунков видно, что у полностью созревшей эмульсии (№ 7) экспериментальные точки, соответствующие разным интенсивностям электронного пучка, практически ложатся на одну и ту же кривую. В то же время у эмульсии с нулевым временем созревания (№ 1) ход кривых почернения существенно зависит от интенсивности электронного пучка.

Для дальнейшего анализа полученных данных по кривым почернения исследуемых эмульсий, соответствующих различным интенсивностям

электронного пучка, строились изоопакки, т. е. кривые  $q=f(j)$  при  $D=const$ . Здесь  $q$  — плотность заряда в  $\frac{\text{кул.}}{\text{см}^2}$ ,  $j$  — интенсивность электронного пучка в  $\frac{\text{а}}{\text{см}^2}$ ,  $D$  — плотность почернения; при этом  $q=jt$ , где  $t$  — время экспозиции. Эти кривые позволяют наглядно судить об областях

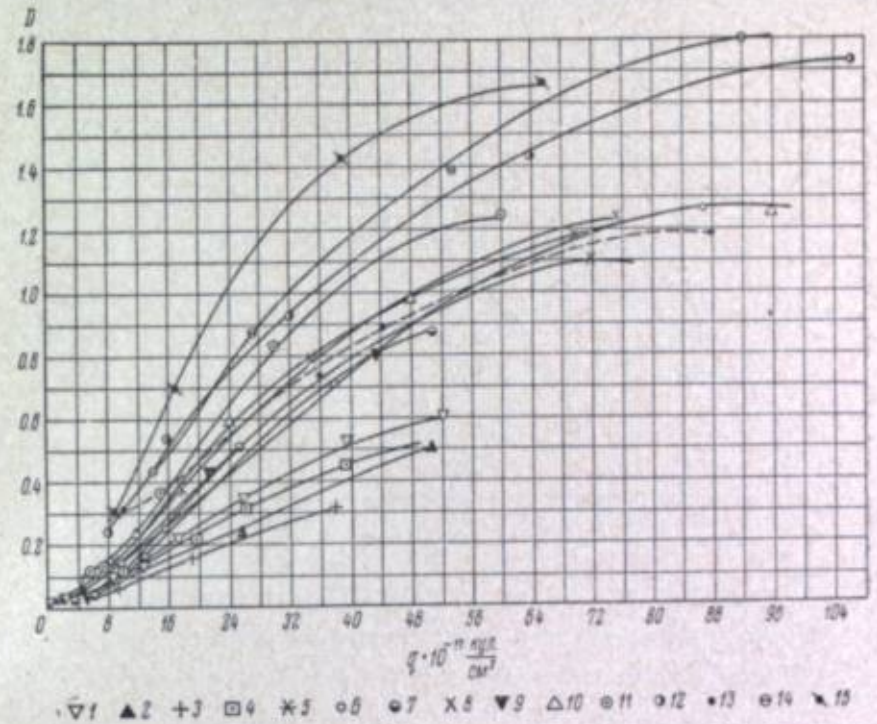


Рис. 2. Кривые почернения эмульсии № 1 серии I при различных интенсивностях (плотностях тока в  $\frac{\text{а}}{\text{см}^2}$ ) электронного пучка. Энергия электронов — 60 кэв.

$$\begin{aligned}
 1 - j_1 &= 0.13 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 2 - j_2 &= 0.19 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 3 - j_3 &= 0.29 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 4 - j_4 &= \\
 & & & & & & & & 0.61 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 5 - j_5 &= 1.12 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 6 - j_6 &= 1.4 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 7 - j_7 &= 1.57 \times \\
 & & & & & & & & \times 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 8 - j_8 &= 2.2 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 9 - j_9 &= 2.62 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 10 - j_{10} &= 3.0 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; \\
 & & & & & & & & 11 - j_{11} &= 3.75 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 12 - j_{12} &= 10.8 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 13 - j_{13} &= 10.8 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; \\
 & & & & & & & & 14 - j_{14} &= 14.1 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}; & 15 - j_{15} &= 16.4 \cdot 10^{-11} \frac{\text{а}}{\text{см}^2}.
 \end{aligned}$$

выполнения и нарушения закона взаимозаместимости времени действия и интенсивности электронного пучка [1, 2].

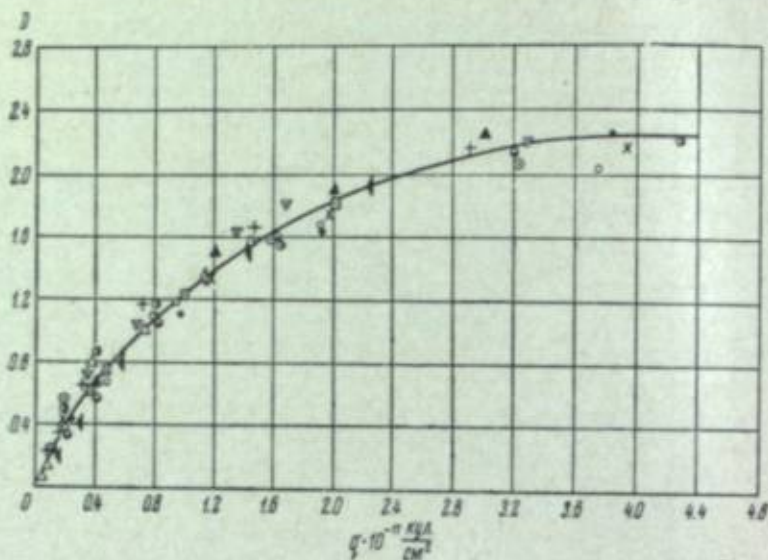
На рис. 4 представлены изоопакки сенсibilизированных эмульсий серии I, а на рис. 5 — изоопакки несенсibilизированных эмульсий этой же серии при энергии электронов 60 кэв. Плотность почернения  $D=0.5$  над вуалью.

Анализ этих кривых показывает, что с увеличением времени второго созревания уменьшается степень отступления от закона взаимозаместимости. В то время как эмульсии с высоким временем созревания практически не обнаруживают отступлений от закона взаимозаместимости во всем интервале используемых интенсивностей, эмульсии с низким временем созревания обнаруживают значительное отступление от этого закона.



Полученные результаты подтверждают высказанные ранее [1, 2] соображения о существовании двух механизмов образования скрытого изображения путем независимых и путем коллективных воздействий первичных электронов на эмульсионные кристаллы.

Эмульсии с низкой степенью созревания имеют мелкие центры чувствительности, вследствие чего центры скрытого изображения в процессе облучения также невелики. Это создает условия для регрессии центров



△ 1 ● 2 □ 3 + 4 • 5 ○ 6 ○ 7 ○ 8 (9 × 10 ▲ 11 ▽ 12

Рис. 3. Кривые почернения эмульсии № 7 серии I при различных интенсивностях (плотностях тока в  $\frac{\mu}{\text{см}^2}$ ) электронного пучка. Энергия электронов — 60 кэв.

1 —  $j_1 = 0,00075 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 2 —  $j_2 = 0,0020 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 3 —  $j_3 = 0,0043 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ;  
 4 —  $j_4 = 0,0076 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 5 —  $j_5 = 0,010 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 6 —  $j_6 = 0,20 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ;  
 7 —  $j_7 = 0,30 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 8 —  $j_8 = 0,47 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 9 —  $j_9 = 1,40 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ;  
 10 —  $j_{10} = 1,95 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 11 —  $j_{11} = 2,0 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ ; 12 —  $j_{12} = 16,9 \cdot 10^{-11} \frac{\mu}{\text{см}^2}$ .

скрытого изображения за время экспозиции, которая при достаточных интенсивностях компенсируется взаимопомощью попадающих в эмульсионный кристалл первичных электронов.

Действительно, из опыта следует, что, увеличивая интенсивность электронного пучка в пределах области нарушения закона взаимозаменяемости, мы повышаем эффективность использования электронов, поскольку одно и то же число электронов создает большее почернение фотоэмульсии. Следовательно, вероятность образования скрытого изображения в эмульсионном кристалле за время экспозиции при таких интенсивностях зависит не только от числа электронов, пролетевших через кристалл, но и от интервала времени между их попаданиями.

У вполне созревших эмульсий центры чувствительности значительно крупнее, вследствие чего центры скрытого изображения получают достаточно стабильными. Выполнение закона взаимозаменяемости для таких эмульсий означает, по-видимому, что образование скрытого изображения в эмульсионном кристалле практически осуществляется действием одного первичного электрона.

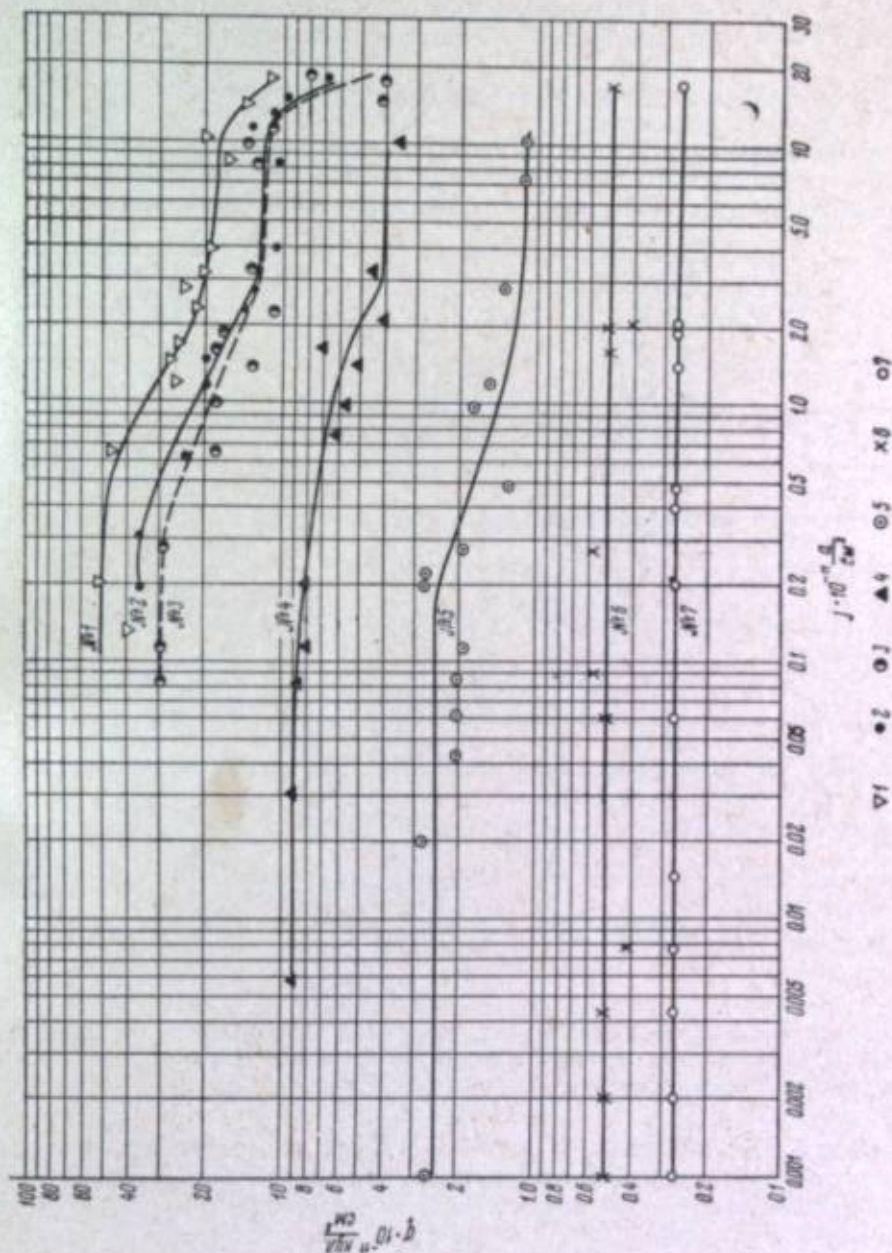


Рис. 4. Изопаки сенсibilизированных эмульсий серии I. Плотность почернения  $D = 0,5$  над вуалью. Энергия электронов — 60 кэв.  
 1 — эмульсия № 1; 2 — эмульсия № 2; 3 — эмульсия № 3; 4 — эмульсия № 4; 5 — эмульсия № 5; 6 — эмульсия № 6; 7 — эмульсия № 7.



### 3. Температурная зависимость чувствительности фотографических эмульсий к электронам

Представляло интерес сравнить температурные зависимости чувствительности ядерных эмульсий типов МК и МР и эмульсий с переменной степенью созревания. Ранее [9] исследовалось влияние температуры при облучении на процесс воздействия электронов энергии 60 кэв на фотоэмульсии серии II. Результаты этих экспериментов показали, что чувстви-

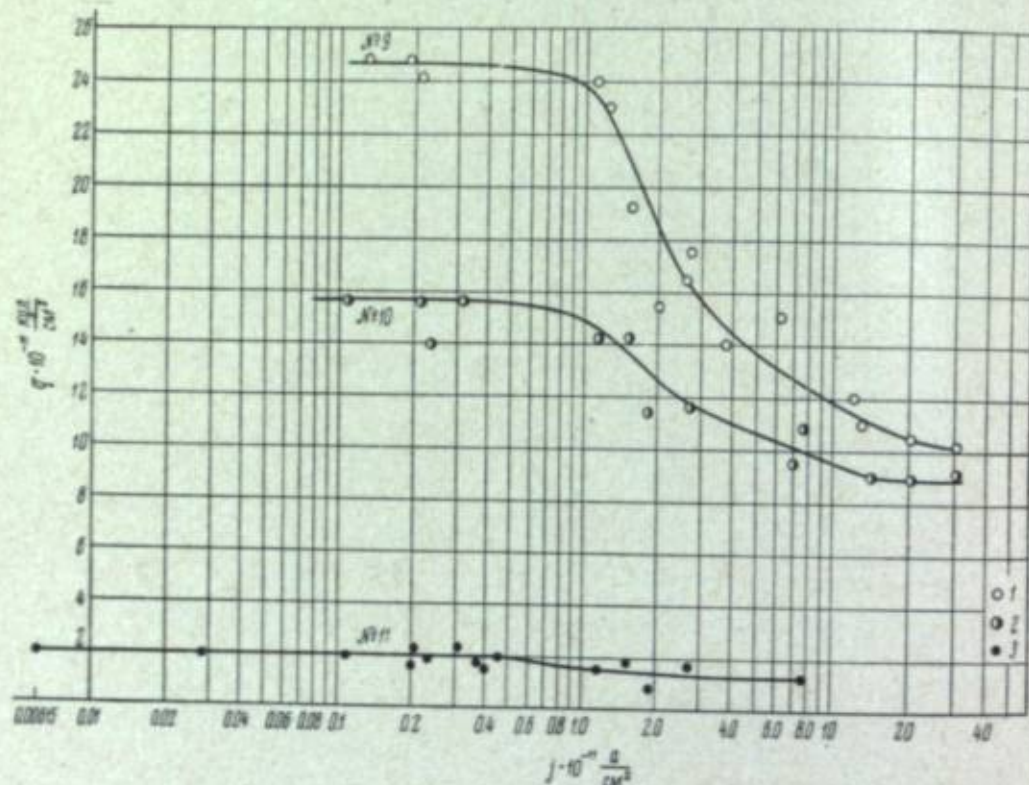


Рис. 5. Изопакти несенсибилизированных эмульсий серии II. Плотность почернения  $D=0.5$  над вуалью. Энергия электронов — 60 кэв.  
1 — эмульсия № 9; 2 — эмульсия № 10; 3 — эмульсия № 11.

тельность фотоэмульсий с высокой степенью созревания уменьшается с понижением температуры, однако для фотоэмульсий с низкой степенью созревания наблюдается обратная зависимость: их чувствительность повышается с понижением температуры. Эмульсии же с промежуточным временем созревания не обнаруживают температурной зависимости вообще.

Полученные закономерности можно качественно объяснить с точки зрения конкуренции двух факторов: уменьшения ионной проводимости бромида серебра, обуславливающей уменьшение чувствительности эмульсии, и увеличения стабильности скрытого изображения при понижении температуры.

На рис. 6 приведены кривые зависимости чувствительности, оцениваемой по плотности почернения ( $D$ ) от температуры облучения ( $t$ ) эмульсий серии II и пластинок типов МК и МР при постоянной плотности заряда ( $q$ ).

Из рис. 6 видно, что эмульсии типов МК и МР ведут себя как эмульсии с высокой степенью созревания. У таких эмульсий центры скрытого изоб-

ражения получают достаточно стабильными в широком температурном интервале. Поэтому основную роль в этом случае играет, по-видимому, убывание ионной проводимости с понижением температуры, что и вызывает уменьшение чувствительности этих эмульсий при охлаждении.

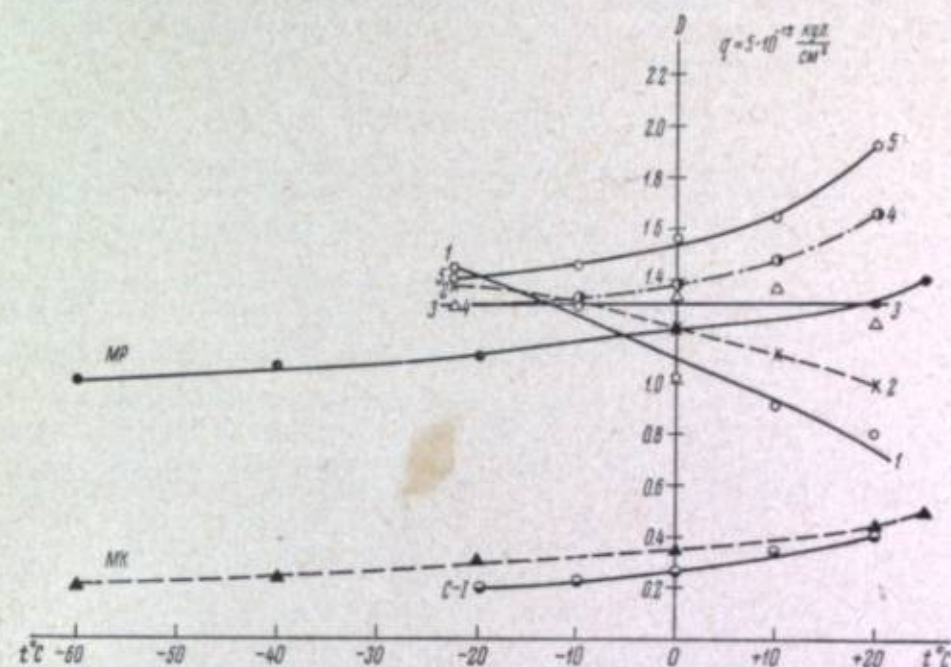


Рис. 6. Кривые  $D=f(t)$  при  $q=\text{const}$  для эмульсий серии II. Энергия электронов — 60 кэв;  $q=5 \cdot 10^{-12} \frac{\text{кул.}}{\text{см}^2}$ .  
1 — время созревания 0 мин.; 2 — время созревания 15 мин.; 3 — время созревания 45 мин.; 4 — время созревания 90 мин.; 5 — время созревания 120 мин.

### Выводы

1. Исследовалось влияние энергии электронов, интенсивности электронного пучка и температуры при облучении на процесс воздействия электронов средних энергий на фотоэмульсии с переменной степенью созревания.

2. Исследования проводились на электронном сенситометре с термостатированной кассетой и автоматическим модулятором экспозиции. Энергия электронов менялась в пределах от 30 до 80 кэв, интенсивность электронного пучка от  $7.5 \cdot 10^{-15}$  до  $2.0 \cdot 10^{-10}$  а/см<sup>2</sup>, а температура при облучении от  $-60$  до  $27^\circ \text{C}$ .

Объектом исследования служили две опытные серии фотоэмульсий НИКФИ. В качестве эталонных использовались спектральная пластинка типа I и микрорадиографические пластинки типов МК и МР.

3. Установлены основные электронносенситометрические показатели исследованных эмульсий при четырех значениях энергии электронов: 30, 45, 60 и 80 кэв.

4. Установлен своеобразный ход отступлений от закона взаимозаменяемости с изменением времени созревания эмульсий. С увеличением времени созревания уменьшается степень отступления от закона взаимозаменяемости, и созревшие эмульсии практически не обнаруживают отступлений от этого закона во всем интервале использованных интенсивностей.



Полученные результаты подтверждают высказанные ранее соображения о существовании двух механизмов образования скрытого изображения путем независимых и путем коллективных действий первичных электронов на эмульсионные кристаллы.

5. Проведено сравнение температурных зависимостей чувствительности ядерных фотоэмульсий типов МК и МР и фотоэмульсий с переменным временем созревания.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. А. Ковнер (Фомина), Ж. exper. и теорет. физ., 20, 401, 1950.
- [2] Л. М. Биберман, И. А. Ковнер (Фомина), Ж. exper. и теорет. физ., 26, 234, 1954.
- [3] Л. М. Биберман, И. А. Фомина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1, 331, 1956.
- [4] И. А. Фомина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 4, 94, 1959.
- [5] И. А. Фомина, К. С. Богомолов, В. В. Бабин, В. С. Маркова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 184, 1964.
- [6] И. А. Фомина, К. С. Богомолов, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 5, 293, 1960.
- [7] И. А. Фомина, К. С. Богомолов, Заводск. лабор., 8, 1015, 1960.
- [8] К. С. Богомолов, Е. П. Добросердова, В. Н. Жарков, Тр. НИКФИ, вып. 10, 41, 1957.
- [9] К. С. Богомолов, И. А. Фомина, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 8, 311, 1963.

В. И. МАТВИНЕНКО, А. Л. КАРТУЖАНСКИЙ,  
Г. Г. МАРТЫШ, Т. М. ТРЕГУБОВА, Л. Н. ШУР

#### СВОЙСТВА ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ, СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ ТРИЭТАНОЛАМИНОМ, ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Известно, что купание в растворе триэтанолamina (ТЭА) значительно повышает чувствительность любых фотоэмульсий, в том числе ядерных, к действию любых излучений и частиц (сводка многочисленных результатов дана в [1]). В частности, отмечено [2], что сенсibilизация ТЭА повышает чувствительность к частицам при низких температурах. Однако, кроме констатации самого факта и некоторых его приложений, литературные данные не содержат больше ничего — ни зависимости действия ТЭА от температуры, ни объяснения такого действия, хотя и то, и другое представляет несомненный интерес. Для получения данных, хотя бы частично восполняющих этот пробел, и была проведена описываемая ниже работа.

#### Методика эксперимента

Опыты проводились в температурном интервале от  $+20$  до  $-196^{\circ}\text{C}$  на восьми разнообразных эмульсиях, а именно эмульсиях НИКФИ типов Р, Я-2 и А-2 и мелкозернистых эмульсиях Н. А. Перфилова П-9<sub>а</sub>, П-9ч, П-9ч с длительным 12-часовым созреванием (далее обозначается П-9ч 12), ПР-2 нормальной и ПР-2 химически несенсибилизированной (далее обозначается ПР-2<sub>0</sub>). Все эмульсии применялись в виде пластинок, причем толщина слоя составляла для эмульсий НИКФИ 50 мк и для остальных эмульсий не более 30 мк. Для облучения использовался источник  $\alpha$ -частиц  $\text{U}^{233}$ .

Устройство экспозиционного прибора представлено на рис. 1. К фланцу 1 с оливкой для откачки 2 припаяна тонкостенная нейзильберовая труба 3 с плотно намотанной измерительной катушкой 4 на конце. Фланец 6 для крепления внутренней части прибора имеет вакуумное резиновое уплотнение с фланцем 1. Нейзильберовая трубка 7 с латунной кассетой 10 на конце присоединена к фланцу 6. Рамка 9 для крепления источника (она здесь показана условно, а более детально дана на рис. 2) имеет перемещение по оси кассеты с помощью нейзильберового штока 8, выведенного через уплотнение 5. Вакуум во всем объеме прибора создается с помощью форвакуумного насоса через оливку 2 и поддерживается в течение всего опыта.

Чтобы в каждом опыте экспонировать сразу 2 пластинки (с ТЭА и без него), в приборе помещены два источника, как показано на рис. 2. При этом пластинки 1 и 2 неподвижны, а рамка 3 с источниками 4 и 5 перемещается штоком 6 (на правой проекции рис. 2 пластинка 1 снята). Коллиматорная щель сделана шириной 2 мм. Смещение источника от одного



экспозиционного поля к другому составляет не менее 4 мм; при 4-миллиметровом шаге на одной пластинке размещается 16 полей. Зазор между источником и пластинкой составляет 0,5 мм, и при расстоянии 5—6 мм от края зоны интенсивного облучения угол вхождения частиц в эмульсию составляет  $10^\circ$ .

Каждый источник представляет собой алюминиевую фольгу  $2 \times 2$  мм со слоем  $U^{233}$  толщиной 1 мкг/см<sup>2</sup>, нанесенным путем вжигания; таким образом, даже при угле вылета примерно  $10^\circ$  самопоглощение отсутствует. Активность источников составляет примерно  $10^8$  частиц/мин. со всей поверхности.

Для достижения той или иной пониженной температуры собранный и откачанный прибор помещается в длинный сосуд Дьюара над жидким азотом. При этом прибор оказывается в токе испаряющегося азота, а степень охлаждения прибора определяется глубиной его погружения в сосуд. Здесь не возникает больших вертикальных градиентов температуры благодаря высокой теплопроводности материала кассеты (латунь) и минимальному притоку тепла сверху через тонкий и плохо проводящий материал (нейзильбер) основных деталей.

Измерение температуры сводилось к измерению сопротивления медной катушки (деталь 4 на рис. 1). В интервале от  $+20$  до  $-110^\circ\text{C}$  зависимость сопротивления катушки от температуры была измерена по многим точкам; кроме того, измерялось сопротивление катушки при  $-196^\circ\text{C}$  и недостающие точки между  $-110$  и  $-196^\circ\text{C}$  определялись интерполированием. Во всем интервале сопротивление изменялось от 209 до 29 ом, что при точности измерения 1 ом давало погрешность в измерении температуры в среднем  $0,85^\circ$ . Для установления теплового равновесия требовалось не менее 10 мин.; о его наступлении судили по постоянству сопротивления катушки. Однако незначительное изменение температуры во время экспонирования все же происходило, что и учитывалось при оценке погрешности измерения.

Для устранения растрескивания слоев при низких температурах вследствие различия коэффициентов теплового расширения стекла и эмульсии и малой эластичности последней мы применили глицериново-спирто-водный (3 : 3 : 4) пластификатор. Если пластификатор вводился после купания в ТЭА, то результаты были вполне хорошими, а если до купания в ТЭА, то растрескивание все же происходило, вероятно, ввиду частичного вымывания пластификатора в sensibilizing ванне.

В качестве рабочей концентрации водного раствора ТЭА мы выбрали 5%. После купания в таком растворе, пластификации и сушки пластинки помещались в кассету, переносились вместе с прибором в сосуд Дьюара и подвергались экспонированию в течение 10 мин. при каждой температуре. Ввиду отсутствия у источников заслонки или другого затворного

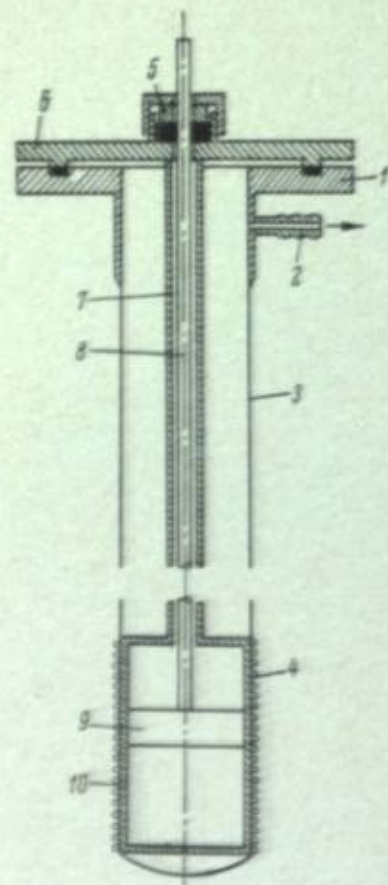


Рис. 1. Устройство экспозиционного прибора (разрез).  
Обозначения в тексте.

устройства начало и конец экспонирования задавались быстрым перемещением источников из крайнего верхнего (нерабочего) положения на данное поле и соответственно возвратом его в крайнее верхнее положение. Даже для наиболее далекого поля такое перемещение занимало всего несколько секунд и не вносило сколько-нибудь значительной ошибки в экспозицию.

Ход опыта был всегда таким, что температура слоя при экспонировании каждого следующего поля была ниже, чем при экспонировании предыдущего. Поэтому переход от комнатной температуры к  $-196^\circ\text{C}$  занимал 3—4 часа, а обратный переход — значительно меньше, порядка 15—20 мин.

Проявление начиналось через 1—2 часа после возвращения пластинок к комнатной температуре. Применялся обычный амидоловый проявитель; время проявления составляло 4 мин. при температуре проявителя  $24^\circ\text{C}$ .

На рис. 3 схематически показан вид проявленной пластинки. Ее поля (они обозначены 1, 2, 3 и т. д.) имеют, как правило, заметное почернение, резко обрывающееся по линии А и постепенно убывающее в сторону линии В. Линия А служит для установки на заданное поле при просмотре пластинки. В направлении от А к В происходит естественная коллимация следов и в точках пересечения средней линии каждого из полей с линией В все следы параллельны друг другу, перпендикулярны к линии В и почти горизонтальны. Именно на эти точки и наводилось перекрестье окуляра микроскопа во время просмотра.

После установки на *i*-е поле определялись длины заключенных в нем следов ( $l_i$ ) и число зерен в каждом из них ( $a_i$ ). Затем просматривались также соседние участки с тем, чтобы довести статистику до некоторого объема, одинакового для всех полей ( $n$ ). Обычно в каждом поле зрения встречалось 10—20 следов при выбранных условиях экспонирования. После измерения необходимого числа следов определялась средняя чувствительность, мерой которой мы выбрали среднее число зерен на след ( $\Sigma a_i/n$ ).

Если же число зерен в следах при данной температуре оказывалось настолько малым, что не удавалось уверенно различать следы или приписывать данное зерно определенному следу, то сосчитывалось общее число зерен в поле зрения и оно затем делилось на число следов в поле зрения, измеренное на той же пластинке для первого поля ( $20^\circ\text{C}$ ); такая замена возможна потому, что интенсивность и геометрия во всех облучениях одинаковы, независимо от температуры.

Кроме чувствительности, из полученных данных определялось распределение следов по длинам и затем отклонение от среднего (дисперсия) в процентах. Как оказалось, это распределение представляет значительный интерес, о чем будет сказано дальше.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 4 и 5 приведены кривые зависимости чувствительности от температуры для двух наименее чувствительных из числа исследованных эмульсий — типа А-2 (рис. 4) и типа П-9<sub>0</sub> (рис. 5). Как можно видеть,

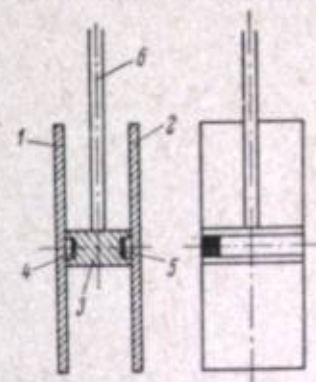


Рис. 2. Размещение источников и пластинок (разрез).  
Обозначения в тексте.



Рис. 3. Схематическое изображение экспонированной пластинки.  
Обозначения в тексте.



в обоих случаях ТЭА значительно повысил чувствительность при всех температурах, но особенно при низких. В области температур, где несенсибилизированные эмульсии практически полностью теряют способность

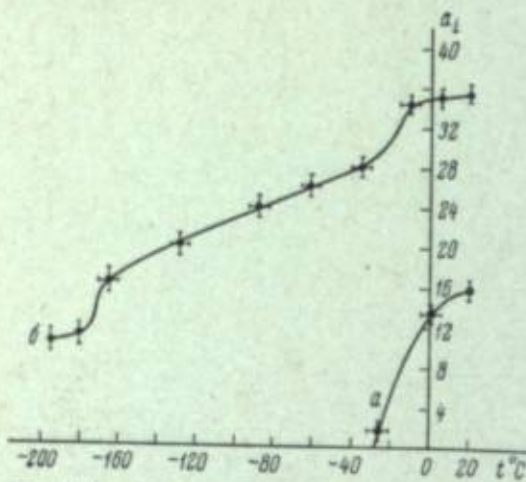


Рис. 4. Зависимость чувствительности от температуры для пластинок А-2 до (а) и после (б) сенсибилизации ТЭА.

до сенсибилизации; это видно и на приведенных здесь кривых. Пока нет достаточных оснований считать подобное уменьшение закономерным и искать его объяснение, но оно не всегда укладывается в пределы погрешности эксперимента.

Поведение других исследованных нами эмульсий не содержит никаких новых закономерностей и в соответствии с их чувствительностью приближается к тому или другому из случаев, представленных на рис. 4—6. Для эмульсии Р после сенсибилизации ТЭА падение чувствительности во всем диапазоне до  $-196^\circ\text{C}$  почти отсутствует.

Важной особенностью поведения всех эмульсий при низких температурах является возникновение широкого распределения следов по длинам за счет появления группы следов более коротких, чем при комнатной температуре. В случае сенсибилизации ТЭА распределение сужается, так как укороченных следов становится меньше; некоторое представление об этом может дать пример на рис. 7, типичный для всех исследованных эмульсий.

Последнее сразу указывает на некоторые особенности сенсибилизирующего действия ТЭА. Сам по себе факт повышения чувствительности под действием ТЭА тривиален. Не является неожиданной и его более высокая эффективность при низких температурах, когда образование скрытого изображения протекает с меньшей эффективностью: подобная осо-

бенность действия ТЭА в других условиях уже отмечена в литературе [3]. Однако удлинение следов в присутствии ТЭА показывает, что ТЭА действует не на все микрокристаллы одинаково.

Для одной из наиболее чувствительных исследованных нами эмульсий — типа П-9ч12 также наблюдается приток чувствительности после сенсибилизации ТЭА. Однако, как показывают кривые на рис. 6, это имеет место только в низкотемпературной области. Более того, в некоторых случаях при температурах, близких к комнатной, плотность  $\alpha$ -следов в релятивистских эмульсиях после сенсибилизации ТЭА была даже несколько меньше, чем

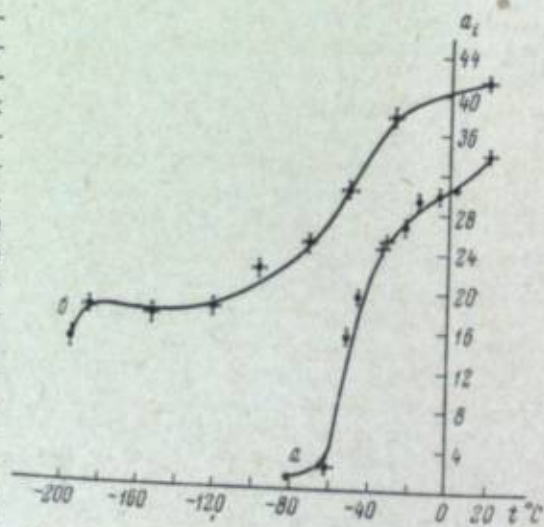


Рис. 5. Зависимость чувствительности от температуры для пластинок П-9 до (а) и после (б) сенсибилизации ТЭА.

Действительно, укорочение следов связано с тем, что ионизирующее действие частицы в первых встреченных ею микрокристаллах не всегда достаточно для образования центров проявления при низких температурах, хотя оно достаточно при более высоких температурах. Поскольку часть следов сохраняет прежнюю длину при любых температурах, остается предположить, что укороченными оказались либо те следы, где первые встреченные микрокристаллы были менее чувствительными, либо те следы, где в первых встреченных микрокристаллах ионизирующее действие частиц резко флуктуировало в сторону уменьшения. Второе маловероятно для столь сильно ионизирующих частиц, как регистрируемые в наших опытах, особенно при наличии у большинства эмульсий большого избытка чувствительности по отношению к регистрируемым частицам. Тогда следует, по-видимому, принять первое предположение.

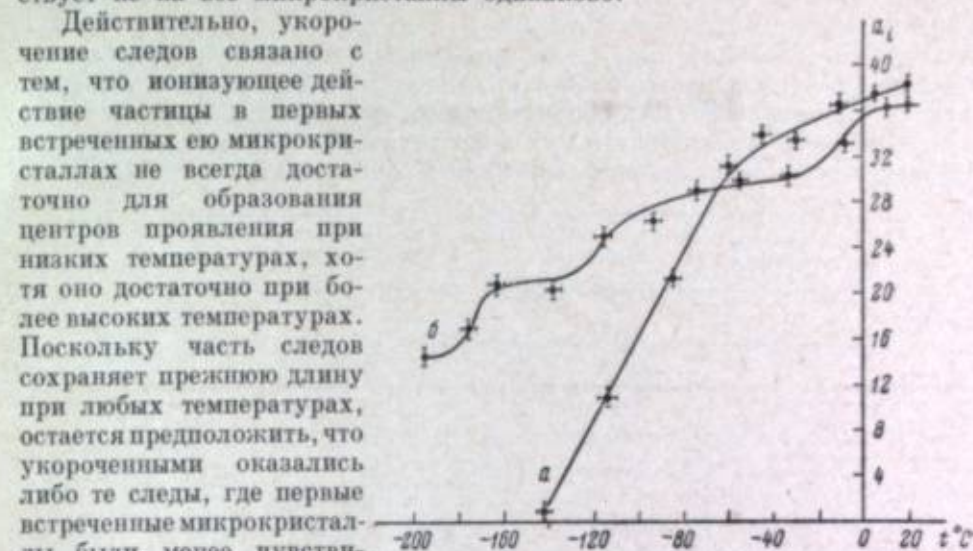


Рис. 6. Зависимость чувствительности от температуры для пластинок П-9ч12 до (а) и после (б) сенсибилизации ТЭА.

Дополнительные соображения в пользу такого вывода дает рассмотрение особенностей хода кривых на рис. 4—6, а также кривых для других эмульсий, не помещенных на этих рисунках. Все кривые отличаются не плавным ходом, а наличием ступеней или перегибов, явно выходящих за возможные пределы погрешности опыта. Эти особенности наблюдаются как для сенсибилизированных, так и для несенсибилизированных эмульсий, и могут быть приписаны постепенному «выключению» малочувствительных классов микрокристаллов при понижении температуры. Таким образом, само предположение о существовании малочувствительных микрокристаллов представляется весьма правдоподобным. Что же касается преимущественного действия ТЭА именно на них, то и это находит подтверждение в полученных кривых. Действительно, указанные особенности кривых после сенсибилизации ТЭА сохраняются, но смещаются в сторону низких температур. Такой результат закономерен, если именно

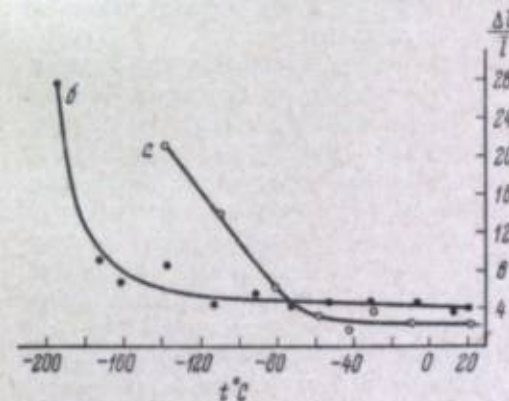


Рис. 7. Дисперсия длин следов (в %) для пластинок П-9ч12 до (а) и после (б) сенсибилизации ТЭА при разных температурах.

Такой результат закономерен, если именно



низкочувствительные классы микрокристаллов стали после сенсibilизации более чувствительными и выключаются при соответственно более низких температурах вместе с классами, которые и до сенсibilизации обладали высокой чувствительностью.

Имеются основания думать, что выключение части микрокристаллов при определенной температуре обусловлено не только условиями изготовления данной эмульсии, но и общими свойствами  $AgHal$  как твердого тела, т. е. свойствами, одинаковыми для всех эмульсий. Наглядным подтверждением этого может служить приводимая ниже таблица, где сведены

Сенсibilизация	Эмульсия	Узловые точки (°C)
Без ТЭА	П-9 <sub>0</sub>	+20, -15
	П-9ч	+5, -30, -60
	П-9ч12	-15, -60
	ПР-2 <sub>0</sub>	-10, -50, -170
	ПР-2	-35, -150
	А-2	+5
	Я-2	+5, -60
С ТЭА	Р	-50, -150
	П-9 <sub>0</sub>	-30, -185
	П-9ч	+5, -60, -130
	П-9ч12	+10, -55, -120, -170
	ПР-2 <sub>0</sub>	-30, -65, -170
	ПР-2	Не обнаружены.
	А-2	-10, -170
Я-2	+5, -110	
Р	Не обнаружены.	

для всех эмульсий данные о температурах в «узловых точках», т. е. таких точках, где происходит существенное изменение наклона или скачок на кривых зависимости чувствительности от температуры.

В этой таблице обращает на себя внимание, что узловые точки группируются в нескольких сравнительно узких интервалах температур и что число их не превышает 3—4 во всей исследованной температурной области. Нельзя не вспомнить в этой связи, что измерения проводимости крупных монокристаллов  $AgHal$  в широком температурном диапазоне, выполненные Матееком [4], также показали наличие 3—4 перегибов на графиках температурной зависимости темновой (ионной) и фотопроводимости в интервале между температурой жидкого воздуха и комнатной, причем от условий изготовления, примесей и др. особенностей кристаллов зависели преимущественно наклоны отдельных участков графиков, а не положение точек перегиба. Разумеется, было бы преждевременным искать прямую связь между результатами Матеека и нашими, но и оставлять без внимания сходство поведения разнообразных эмульсий, демонстрируемое в таблице, не следует.

В заключение авторы благодарят Н. Р. Новикову за предоставление ряда образцов мелкозернистых эмульсий и Н. Б. Шлямину за помощь в проведении опытов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Л. Каргужанский, Л. И. Шур, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 6, 306, 1961.
- [2] К. С. Богомолов, И. Ф. Разоренова, И. А. Рудницкая, А. А. Слещетинская, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 3, 380, 1958.
- [3] А. П. Жданов, А. Л. Каргужанский, И. В. Рымжова, Л. И. Шур, Докл. АН СССР, 118, 744, 1958.
- [4] R. Matejec, Z. Phys., 148, 454, 1957.

Х. А. ГЕЦЕЛЬ

#### РАСЧЕТ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФОТОСЛОЕВ В АВТОРАДИОГРАФИИ

При данном радиоактивном излучении геометрические факторы, как-то толщина среза, толщина фотослоя и расстояние между ними, оказывают решающее влияние на четкость биологической автордиограммы. Доннэч, Пелк и Говард [1, 2] выразили это математически. Полученная ими формула использована в данной работе для расчета разрешающей способности автордиограмм на отечественных фотоматериалах (рентгеновской пленке XX, фотопластинках НИКФИ типов МР, МК и Р50). Вывод этой формулы, которая приведена авторами без промежуточных выкладок, мы произвели самостоятельно [3]. Этот вывод можно провести следующим образом.

Представим автордиографический препарат схематически в виде среза ткани с распределенным в нем радиоактивным веществом (рис. 1), приклеенного к предметному стеклу. Пусть толщина среза  $d$ . На расстоянии  $\delta$  от него находится слой фотоэмульсии толщиной  $a$ . Мысленно вырежем по средней линии среза стерженек бесконечно малого диаметра  $dz$ , высота которого равна толщине среза, поскольку стерженек перпендикулярен поверхности среза. Пусть в точке  $Q$  стерженька, находящейся на расстоянии  $x$  от поверхности среза, имеется источник радиоактивного излучения, а  $P$  является произвольной точкой в эмульсионном слое.

Интенсивность, с которой облучается точка  $P$  в эмульсии от точечного источника  $Q$ , зависит от расстояния  $r$  между ними (по закону  $\frac{1}{r^2}$ ) и от активности источника, которую примем известной. Хотя частицы, вылетающие из точки  $Q$  во всех направлениях, испытывают упругое рассеяние и поглощение ядрами атомов, можно для простоты принять, что они движутся прямолинейно, как если бы речь шла об источнике квантов в той же точке.

Для плотностей почернения (исключая очень большие или очень малые) можно предположить прямую пропорциональность между чис-

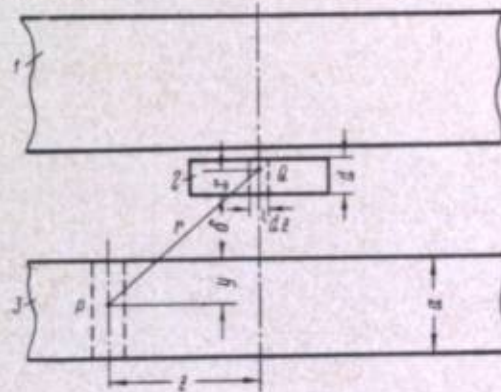


Рис. 1. Схема автордиографического препарата.



лом частиц, прошедших элемент объема эмульсии, и числом ставших проявляемыми эмульсионных кристаллов. Дальнейшие рассуждения таковы.

Пусть  $dn$  — число эмульсионных кристаллов, экспонированных в единицу времени источником, находящимся в точке  $Q$  и ставших проявляемыми. Если они заключены в объеме  $dV = dl_1 \cdot dl_2 \cdot dy$  и  $M$  есть интенсивность излучения источника, то

$$dn = dV \frac{M}{r^2} = dl_1 dl_2 \frac{M dy}{r^2}. \quad (1)$$

Переходя теперь к элементу объема с толщиной, равной толщине слоя, мы должны проинтегрировать выражение (1) по  $y$ , т. е. по текущей координате, отсчитываемой от поверхности фотослоя в глубину него. Получаем

$$dN = dl_1 dl_2 \int_0^a \frac{M dy}{r^2} = dl_1 dl_2 M \int_0^a \frac{dy}{z^2 + (y + \delta + x)^2}, \quad (2)$$

где  $z$  — расстояние элемента объема от перпендикуляра, опущенного из точки  $Q$  на фотослой,  $dN$  — число микрокристаллов, ставших проявляемыми в столбике эмульсии с поперечным сечением  $dl_1 dl_2$ . Однако плотность почернения зависит не от полного числа проявленных зерен во всем объеме фотослоя, а от числа их, расположенных за единицей площади поверхности слоя. Обозначив последнее число через  $\tilde{dN}$ , получаем сразу

$$\tilde{dN} = \frac{dN}{dl_1 dl_2} = M \int_0^a \frac{dy}{z^2 + (y + \delta + x)^2}. \quad (3)$$

Это выражение или пропорциональная ему величина могут служить мерой почернения в рассматриваемом столбике эмульсии под действием точечного источника.

Перейдем теперь к почернению, образуемому не от точечного, а от линейного источника, заключающего в себе точку  $Q$ , а также все другие точки на том же перпендикуляре к поверхности среза, т. е. имеющие любые значения координаты  $x$  по глубине слоя от нуля до  $d$ . Для этого проинтегрируем выражение (3) по  $x$

$$N = M \int_0^d dx \int_0^a \frac{dy}{z^2 + (y + \delta + x)^2}. \quad (4)$$

Вычисляя этот интеграл, получим следующую окончательную формулу:

$$N = M \left\{ \left( \frac{a+d+\delta}{z} \operatorname{arctg} \frac{a+d+\delta}{z} - \frac{a+d}{z} \operatorname{arctg} \frac{a+d}{z} - \frac{d+\delta}{z} \operatorname{arctg} \frac{d+\delta}{z} + \frac{\delta}{z} \operatorname{arctg} \frac{\delta}{z} \right) - \frac{1}{2} \left[ \ln \left( 1 + \frac{(a+d+\delta)^2}{z^2} \right) - \ln \left( 1 + \frac{(a+\delta)^2}{z^2} \right) - \ln \left( 1 + \frac{(\delta+d)^2}{z^2} \right) + \ln \left( 1 + \frac{\delta^2}{z^2} \right) \right] \right\}. \quad (5)$$

Задавая  $a$ ,  $d$  и  $\delta$ , можно теперь по формуле (5) получить распределение почернения от линейного источника как функцию расстояния по поверхности слоя от источника, т. е. переменной  $z$ . Именно таким путем и будем дальше рассчитывать разрешающую способность автордиограмм.

На рис. 2 приведены три графика, рассчитанных по формуле (5), причем за начало отсчета выбрана точка, противоположная линейному источ-

нику радиоактивности; расстояния  $z$  даны в микронах. Для всех трех графиков принято  $a=20$  мк,  $d=10$  мк, а  $\delta$  принимает три возможных значения — 1, 2, 3 мк. Из рис. 2 следует, что плотность почернения максимальна в начале координат, т. е. против линейного источника, и симметрично убывает с удалением от него. Таким образом, как и следовало ожидать, фотографическое изображение линейного радиоактивного источника не является линейным, а имеет конечную ширину. Очевидно, именно эта ширина и может служить мерой разрешающей способности: чем ширина больше, тем разрешающая способность меньше, и наоборот. Говард, Доннач и Пелк [2] предлагают принять за меру разрешающей

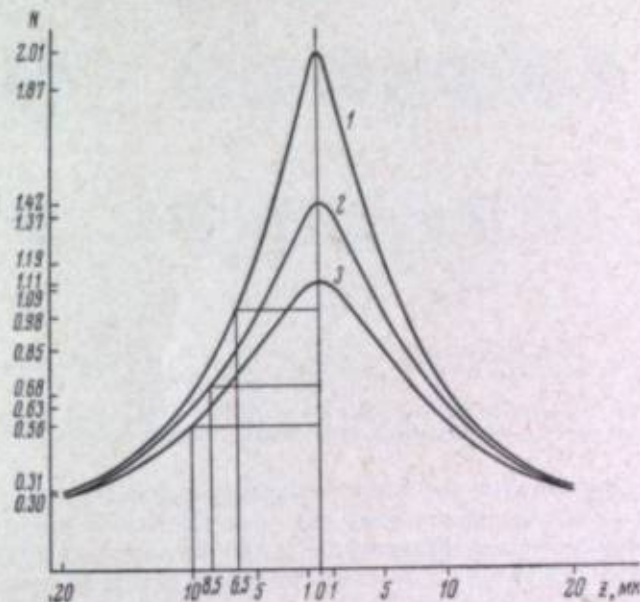


Рис. 2. Кривые разрешающей способности рентгеновской пленки XX с односторонним фотослоем ( $a=20$  мк) при толщине среза  $d=10$  мк и различными расстояниями между срезом и фотослоем.

1 —  $\delta=1$  мк; 2 —  $\delta=2$  мк; 3 —  $\delta=3$  мк.

способности такую величину  $z$ , для которой почернение составляет половину максимального; соответствующие точки мы отметили на рис. 2 для каждого из графиков. Однако, исходя из обычного определения разрешающей способности, при котором важна раздельная передача линейных объектов, имеющих соседей с обеих сторон, мы считаем, что более правильной характеристикой разрешающей способности автордиограмм является удвоенная величина расстояния от начала координат до точки с половиной максимальной плотностью; такого же мнения придерживается и Бойд [4].

Кривые рис. 2 показывают, что расстояние между срезом и фотослоем имеет очень важное значение для разрешающей способности. Так, при зазоре в 1 мк расстояние между точками половиной максимальной плотности составляет 13 мк, при зазоре 2 мк — 17 мк, а при зазоре 3 мк — 20 мк. Этот результат приобретает особое значение для разрешающей способности рентгеновских пленок, имеющих, как известно, двусторонний полив. Обычная толщина полива с каждой стороны составляет 20 мк, а слой основы, разделяющей фотоэмульсионные слои, имеет толщину около 140 мк. Подставляя в качестве значения  $\delta$  величину 160 мк (сумму



толщину основы и первого эмульсионного слоя), можно найти по формуле (5), что расстояние между точками половинной максимальной плотности во втором слое составит больше  $1/3$  мм (точнее 348 мк). Отсюда следует,

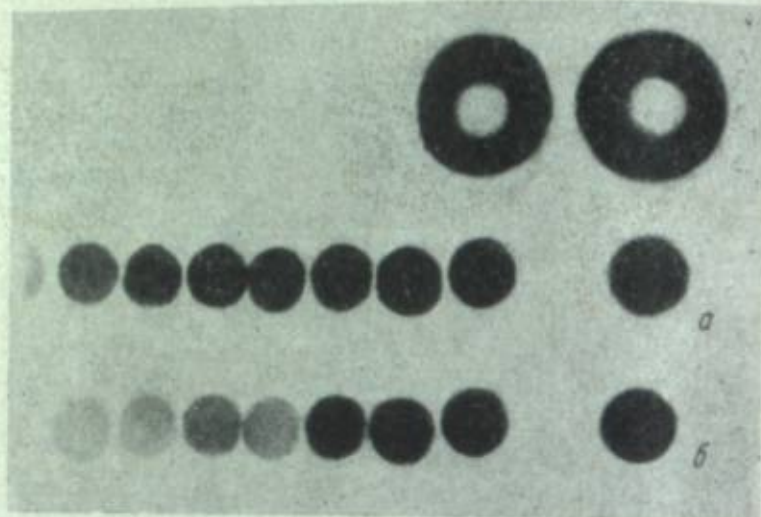


Рис. 3. Авторадиограммы от набора эталонов с излучателем P32, диаметром 8 мм.  
а — на однослойной рентгеновской пленке XX; б — на втором фотослое двусторонней рентгеновской пленки XX.

что присутствие второго эмульсионного слоя резко ухудшает разрешающую способность авторадиограмм на рентгеновской пленке. Поэтому при получении авторадиограммы на такой пленке необходимо предварительно удалять второй слой; хороший способ для этой цели указан Войдом [4].

Для иллюстрации разрешающей способности второго слоя рентгеновской пленки приводим снимки с авторадиограмм серии радиоактивных эталонов на первом слое (рис. 3, а) и на втором слое (рис. 3, б) рентгеновской пленки XX. Одни и те же радиоактивные эталоны [5] использовались одновременно для экспонирования двух рентгеновских пленок. После окончания экспонирования у одной пленки проявлялся первый слой, находившийся в непосредственном контакте с эталоном, а второй слой удалялся фиксированием (рис. 3, а), тогда как на другой пленке проявлялся обратная операция — проявлялся слой, не контактировавший с эталоном, а фиксированием без проявления удалялся слой, ближайший к эталоноу. Как видно из приведенных на рис. 3 снимков,

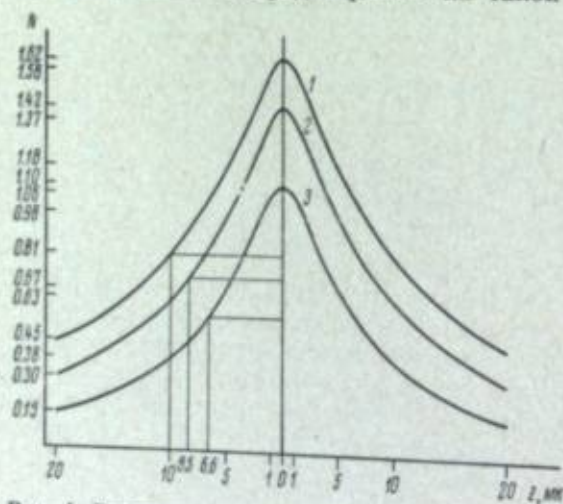


Рис. 4. Влияние толщины фотослоя на разрешающую способность авторадиограммы.  
 $\delta=2$ ;  $d=10$ . 1 —  $a=50$  мк; 2 —  $a=20$  мк; 3 —  $a=8$  мк.

что присутствие второго эмульсионного слоя резко ухудшает разрешающую способность авторадиограмм на рентгеновской пленке. Поэтому при получении авторадиограммы на такой пленке необходимо предварительно удалять второй слой; хороший способ для этой цели указан Войдом [4].

четкость авторадиограмм на первом слое много больше, чем на втором.

На рис. 4 приводятся графики, имеющие целью показать влияние толщины фотоэмульсионного слоя на разрешающую способность авторадиограмм. Можно видеть, что пластинки МК и МР, имеющие толщину эмульсионного слоя всего 8 мк, обладают наибольшей разрешающей способностью (расстояние точек половинной максимальной плотности 13.2 мк). Рентгеновская пленка с толщиной эмульсионного слоя 20 мк при тех же условиях имеет расстояние 17 мк, а пластинки НИКФИ-Р50 (толщина слоя 50 мк) имеют расстояние даже 20 мк.

Строго говоря, приводившиеся выше численные величины не вполне характеризуют разрешающую способность, так как при прочих равных условиях значение имеет еще и размер эмульсионных кристаллов. Поэтому к полученным величинам следует прибавить удвоенный наибольший размер эмульсионных кристаллов. Для мелкозернистых эмульсий такая поправка в общем не существенна, а пластинки МК и МР, имевшие одинаковую полуширину кривых (13.2 мк), остаются почти одинаковыми и после введения поправки: преимущество МК перед МР незначительно, так как для МК максимальный размер эмульсионных кристаллов 0.35 мк, а для МР — около 0.5 мк. Вместе с тем при сравнении рентгеновской пленки и пластинок Р50 такая поправка существенна: если для Р50 наибольший размер кристаллов составляет 0.5 мк, то для пленки XX он равен 3 мк. В результате полная разрешающая способность пленки XX оказывается худшей (полуширина 23 мк), чем пластинок Р50 (полуширина 21 мк), хотя без учета различий в размерах кристаллов полуширина для пленки XX была меньшей, чем для пластинок Р50.

## Выводы

1. Разрешающая способность фотографических слоев в условиях авторадиографии может быть теоретически рассчитана без непосредственного определения на опыте.
2. Разрешающая способность авторадиограмм возрастает с уменьшением зазора (улучшением контакта) между фотослоем и исследуемым объектом, уменьшением толщины фотослоя и объекта, а также с уменьшением размера эмульсионных кристаллов.
3. Разрешающая способность однослойной рентгеновской пленки много больше, чем двуслойной, так как второй слой последней находится на значительном расстоянии от объекта.
4. Мелкозернистые эмульсии даже при поливе толстым слоем (например, в пластинках Р50) обладают разрешающей способностью большей, чем крупнозернистые эмульсии, хотя бы и политые относительно тонким слоем (например, в рентгеновской пленке XX).
5. Из фотослоев, применяемых в авторадиографии и рассматриваемых в настоящей работе, пластинки МК имеют наивысшую разрешающую способность благодаря малой толщине эмульсионного слоя и малым размерам микрокристаллов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. Донич, С. Пелк, Сб. «Радиография», ИЛ, М., 1952, 305.
- [2] I. Doniach, A. Howard, S. K. Pelc, Progr. Biophysics a. Biophysical Chemistry, v. 3, L., 1963.
- [3] Х. А. Гецель, Канд. дисс., ЛГУ, 1964.
- [4] Дн. В о й д. Авторадиография в биологии и медицине. ИЛ, М., 1957.
- [5] Х. А. Гецель, Биофизика, 6, 219, 1961.

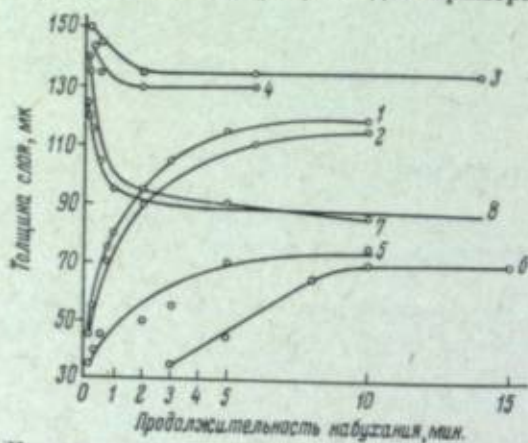


И. Б. БЛЮМБЕРГ

КИНЕТИКА ХИМИКО-ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЕВ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Общие сведения о макроскопической кинетике обработки фотографических слоев были изложены нами в [1, 2]. В [3] были рассмотрены некоторые особенности кинетики обработки ядерных слоев.

1. Первой стадией химико-фотографической обработки является набухание слоя. На рисунке для примера приведены кривые кинетики набухания цветной многослойной пленки.



Кинетика набухания слоя цветной позитивной пленки [4] в фиксаже с 252 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  без предварительного размачивания (1) и предварительно размоченной (3), а также в фиксаже с 750 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  без предварительного размачивания (5) и предварительно размоченной (7).

То же с  $\text{NH}_4\text{Cl}$  — кривые 2, 4, 6, 8 соответственно.

2. Когда набухший слой приходит в соприкосновение с рабочим раствором, в него начинают проникать компоненты последнего. Проникновение осуществляется тем быстрее, чем меньше слой (желатина и взвешенные в ней частицы) связывает проникающее вещество.

В табл. 1 приведены продолжительности проникновения фронта вещества с концентрацией, обеспечивающей протекание процесса с приемлемой скоростью, в слой различной толщины. Продолжительности найдены расчетом согласно [5], причем предполагалось, что толщина пограничного слоя  $\delta$  близка к нулю, а градиент концентрации неизменен во времени. В практике  $\delta$  никогда не бывает равен нулю, и первое допущение занижает оценку продолжительности проникновения. Принимая во внимание оба допущения, следует иметь в виду, что вычисленные значения несколько меньше истинных. Эти значения относятся к случаю, когда проникающее вещество не связывается слоем. Однако если связывание имеет место, то проникновение

Таблица 1

Толщина набухшего слоя, мм	Продолжительность проникновения, сек.			
	KBr	$\text{K}_2\text{CO}_3$	метол	тиосульфат натрия
300	$1.4 \cdot 10^2$	$1.3 \cdot 10^2$	$0.9 \cdot 10^2$	$1.2 \cdot 10^2$
1000	$1.5 \cdot 10^3$	$1.4 \cdot 10^3$	$0.5 \cdot 10^4$	$0.7 \cdot 10^3$
2500	$10^4$	$8.9 \cdot 10^3$	$3.3 \cdot 10^4$	$4.3 \cdot 10^3$

замедляется. В практических условиях, если проявление не началось, то KBr и метол почти не связываются слоем, а  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  связывается в небольших количествах. Поэтому для этих трех веществ вычисленные продолжительности проникновения близки к истинным.

Тиосульфат натрия связывается слоем в очень больших количествах и продолжительность его проникновения в глубину слоя гораздо больше приведенной в табл. 1.

Сопоставляя продолжительность проникновения с величиной индукционного периода проявления, близкой к 200—300 сек., можно видеть, что процесс проявления тонкого поверхностного слоя эмульсии, граничащего с раствором, начнется через 3—5 мин. после погружения слоя в раствор и закончится примерно через 30 мин. после этого. К этому времени глуболежащие участки слоя еще не придут в соприкосновение с компонентами раствора. Ко времени же, когда раствор проникнет в глубину слоя, верхние участки последнего будут сильно перепроявлены и завуалированы. Такой результат проявления неприемлем — слой должен быть проявлен совершенно одинаково по всей глубине. Очевидно, это может быть достигнуто только путем проведения процесса по схеме «а» [2, стр. 133], т. е. в том случае, если индукционный период будет в несколько раз превышать продолжительность проникновения компонентов раствора в слой. Для этого индукционный период должен быть увеличен до значений, в несколько раз превышающих продолжительности проникновения. Его увеличение достигается искусственным замедлением химической стадии проявления (путем снижения pH проявителя или температуры процесса) до окончания пропитки слоя проявителем. После этого слой нагревается или подщелачивается, индукционный период уменьшается и реакция проявления начинает идти с большей скоростью. Ни щелочь, ни теплота не проникают в слой мгновенно, так как связываются подкисленным или охлажденным слоем. Предпочтительно использовать процесс, в котором проникновение будет наиболее быстрым, а неоднородность проявления по глубине соответственно наименьшей.

Так как проникновение компонентов проявителя в слой всегда происходит при заторможенной реакции восстановления  $\text{AgHal}$ , то связывание их слоем невелико и скорость проникновения близка к скорости диффузионного переноса при отсутствии связывания.

Совершенно иное положение имеет место при проникновении в слой тиосульфата натрия или других растворителей галогенида серебра. В этом случае адсорбция растворителя и последующая реакция образования серебристо-тиосульфатных соединений имеет место в течение всего времени проникновения. Это значит, что связывание тиосульфата слоем велико и скорость проникновения его в слой гораздо меньше скорости диффузионного переноса и скорости проникновения в слой компонентов проявителя. Следовательно, при пропитке слоя фиксажем и фиксировании близкие к поверхности слоя участки изображения находятся под дей-



ствием фиксажа гораздо дольше, чем участки изображения, удаленные от поверхности. Это неравенство не исчезает при отмывании тиосульфата из слоя, так как отмывание тиосульфата ввиду отсутствия связывания осуществляется гораздо быстрее доставки его в слой.

Различное время пребывания различных участков изображения в фиксаже не играло бы роли, если бы последний совершенно не растворял металлического серебра.

Однако растворимость Ag в тиосульфате при  $pH > 7$  хотя и мала, но заметна. Поэтому ослабление следов в участках слоя, близких к его поверхности, может оказаться заметным. Можно ожидать, что оно будет тем большим, чем толще слой.

3. После окончания пропитки слой нагревается или подщелачивается (для проявления), процесс его обработки сильно ускоряется и начинает идти с нормальной скоростью. С этого момента ход процесса зависит от его кинетики. Рассмотрим ее особенности.

Таблица 2

Значение фотографической емкости ядерного слоя

Вещество	Кинопозитивная пленка	Толстослойный фотоматериал	
		следы частиц	почернение
Проявляющее вещество . . . . .	$2 \cdot 10^{-1}$	$10^2 - 10^4$	$2 \cdot 10^{-2}$
Щелочь . . . . .	1	$10^1$	$10^{-1}$
Сульфит . . . . .	1	$10^3 - 10^5$	$10^{-1}$
Тиосульфат натрия	1	$10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-1}$

Важнейшим обстоятельством, определяющим характер процесса, является емкость слоя. В табл. 2 приведены ее значения для компонентов проявляющего и фиксирующего растворов. Для сравнения в табл. 2 приведены и значения емкости для кинопозитивной пленки. Из табл. 2 следует, что при проявлении следов емкость очень велика и процесс может быть доведен до кон-

ца с неизменной скоростью без диффузионного обмена между слоем и внешним раствором.

При проявлении почернений и фиксировании положение оказывается обратным. Емкость в этих процессах настолько мала, что процесс нуждается в интенсивном диффузионном обмене между слоем и внешним раствором.

Попытаемся оценить, как отразится на скорости протекания процесса отсутствие потребности в диффузионном обмене. В случае позитивной кинопленки толщина набухшего эмульсионного слоя близка к 50 мк, а радиус элементарной сферы, окружающей микрокристалл AgHal — к 2 мк. Поэтому наибольшая продолжительность диффузии из раствора в слой больше наибольшей ее продолжительности внутри элементарной сферы примерно в  $(50/2)^2$  раз. В табл. 3 приведены эти же величины для ядерных слоев различной толщины. Из нее следует, что при проявлении следов частиц, когда емкость велика и диффузионный обмен между слоем и внешним раствором не нужен, процесс может идти со скоростью в десятки тысяч раз превышающей скорость такого же процесса при малой емкости, когда диффузионный обмен с внешним раствором необходим.

Этот последний случай имеет место при проявлении почернений большой плотности и фиксировании, когда емкость мала; без обмена с внешним раствором процесс не может быть проведен. При промывании, когда во всех случаях требуется обмен с внешним раствором, приходится мириться с большими длительностями процесса и невысоким качеством промывания.

Значения емкости, приведенные в табл. 2, означают, что кинетика проявления следов частиц очень близка к химической, а проявления почернений и фиксирования — к диффузионной. Диффузионной же является и кинетика промывания. Так как характер кинетики многое определяет в проведении процесса, то вывод о характере кинетики различных процессов дает возможность предсказать некоторые особенности их протекания.

Проявление следов частиц. Оно идет по кинетике, близкой к химической. Поэтому скорость процесса сильно зависит от факторов, влияющих на скорость реакции восстановления серебра. Это означает, что температурный коэффициент скорости проявления велик ( $K_T \approx 3.0$ ) и что скорость процесса сильно зависит от pH и pVg. Она также сильно зависит от разности потенциалов серебряной и восстановительной систем.

Иначе говоря, к данному случаю применимы выводы электрохимической теории проявления. Разрушение пограничного слоя почти не повлияет на скорость процесса ни в одном из участков слоя. Химический характер кинетики процесса позволяет также сделать вывод о том, что все виды неравномерного проявления, играющие большую роль при обработке кинопленок, в рассматриваемом случае будут отсутствовать. Это, между прочим, означает, что во всех случаях количество восстановленного серебра будет пропорционально количеству облучения, которому был подвергнут слой.

Особое положение возникает в самом начале процесса проявления, когда пропитанный проявителем слой нагревается или подщелачивается и проявление начинается. Ни теплота, ни щелочь не проникают в глубину слоя мгновенно. Время проникновения тем меньше, чем больше коэффициент теплопередачи или диффузии, чем меньше теплоты или щелочи связывается слоем (т. е. чем меньше его теплоемкость или массоемкость) и чем больше градиент температуры или концентрации.

Для того чтобы проявление по всей глубине слоя было равномерным, индукционный период процесса должен быть существенно большим, чем полное время нагревания или подщелачивания слоя. Только в этом случае процесс будет идти по схеме «а». Отсюда следует, что с увеличением толщины слоя индукционный период проявления при пропитке должен увеличиваться.

Проявление почернений идет по кинетике, близкой к диффузионной. В связи с этим скорость химической реакции восстановления серебра не определяет скорости процесса, так как последняя ограничивается скоростью доставки компонентов проявителя в слой и отвода продуктов реакции из него. Следовательно, температурный коэффициент скорости проявления будет гораздо меньшим, чем в предыдущем случае (примерно 1.5). Влияние изменений pH и pVg также выражено гораздо слабее. Скорость проявления почти не зависит от разности потенциалов серебряной и восстановительной систем. Выводы из электрохимической теории в данном случае неприменимы. Разрушение погра-

Таблица 3

Отношение продолжительностей диффузионного переноса из раствора в слой и внутри элементарной сферы

Толщина набухшего слоя (l), мк	Средний радиус (r) элементарной сферы, мк		Отношение продолжительностей (l/r) <sup>2</sup>	
	следы	почернение	следы	почернение
300	5	0.1	$3.6 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^6$
600	5	0.1	$1.4 \cdot 10^4$	$3.6 \cdot 10^7$
1000	5	0.1	$4 \cdot 10^4$	$10^8$
1500	5	0.1	$9 \cdot 10^4$	$2.2 \cdot 10^8$
2500	5	0.1	$2.5 \cdot 10^5$	$6.2 \cdot 10^8$



ничного слоя вызовет большое ускорение проявления в участках слоя, смежных с раствором, и все меньшее и меньшее по мере удаления от него в глубь слоя. Скорость проявления будет приблизительно обратно пропорциональна вязкости раствора.

В данном случае почти всегда имеет место неравномерное проявление по глубине слоя и количество восстановленного серебра не пропорционально количеству облучения.

Так как емкость слоя мала и для восстановления всего экспонированного серебра необходима доставка в слой больших количеств щелочи, сульфита и проявляющих веществ — процесс идет во много раз медленнее, чем проявление следов.

Фиксирование идет так же, как и проявление почернений, по близкой к диффузионной кинетике. Поэтому все, что ускоряет реакцию растворения  $\text{AgHal}$ , мало повлияет на скорость фиксирования. Все же, что ускоряет диффузию растворителя в слой, будет ускорять процесс.

Так, например, температурный коэффициент скорости фиксирования будет очень малым (примерно 1.5). Замена  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  на  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  не изменит скорости фиксирования. Она может увеличиться разрушением пограничного слоя (тем сильнее, чем тоньше слой) и увеличением емкости слоя, что изменит характер кинетики в сторону удаления ее от диффузионной и приближения к химической. Увеличение емкости слоя может быть достигнуто путем замены тиосульфата другим веществом, которое можно использовать в гораздо больших концентрациях, чем тиосульфат.<sup>1</sup>

Промывание. Оно идет по вполне диффузионной кинетике и требует для своего завершения очень много времени. Температурный коэффициент процесса мал. Ускорить промывание можно путем разрушения пограничного слоя в тем большей степени, чем тоньше слой. Существенного ускорения можно добиться, промывая слой не водой, а растворами солей [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 5, 90, 1960.
- [2] И. Б. Блюмберг, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 132, 1964.
- [3] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Тр. ЛИКИ, вып. 6, Л., 1961, 33.
- [4] И. Б. Блюмберг, В. Г. Иванова, А. Е. Нейман, М. Я. Пикус, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 6, 39, 1961.
- [5] И. Б. Блюмберг, И. М. Давыдкин, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 8, 81, 1963.
- [6] И. Б. Блюмберг, Технология обработки кинофотоматериалов. Изд. «Искусство», М., 1958.

Н. П. КОЧЕРОВ

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГОВОГО ОКИСЛЕНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ СКРЫТОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ, ОБРАЗОВАННОГО ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ В ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

Метод ядерных эмульсий часто используется для регистрации заряженных частиц в условиях большого фона излучений с меньшей удельной ионизацией, чем у регистрируемых частиц. В этих случаях обычно применяется специальная обработка фотоэмульсий, целью которой является либо разрушение скрытого изображения, созданного фоновым излучением, путем его окисления (метод окисления), либо избирательное проявление частиц в таких условиях, когда скрытое изображение фонового излучения с меньшей ионизацией остается непроявленным (метод недопроявления).

Метод окисления был впервые разработан Н. А. Перфиловым [1] для регистрации спонтанного деления ядер в условиях высокого фона  $\alpha$ -частиц. Впоследствии этот метод применялся многими авторами [2—4], которые использовали различные окислители. Метод недопроявления также широко используется в настоящее время [5, 6], причем в большинстве случаев применяются органические проявляющие вещества и регулируют скорость проявления изменением рН проявителя и концентрации проявляющего вещества. Однако оба метода, как правило [7], оказывают влияние также и на некоторые характеристики следов сильно ионизирующих частиц (например, уменьшается длина следа). Во многих случаях такие изменения являются крайне нежелательными, поскольку они делают невозможным определение параметров частиц по ионизационным характеристикам.

Размер центра скрытого изображения (количество атомов серебра, составляющих его) зависит от удельной ионизации частиц, регистрируемых в эмульсии. Чем меньше удельная ионизация частицы, тем меньше размер созданного ею центра скрытого изображения.

Согласно электрохимической теории процесс проявления может начаться лишь тогда, когда разность между  $\text{Ox-Red}$ -потенциалом проявителя ( $E$ ) и потенциалом  $E_{\text{Ag}}$  серебряного электрода не ниже вполне определенной положительной величины

$$\Delta E_{\text{min}} = E_{\text{Ag}} - E.$$

Величина  $\Delta E_{\text{min}}$ , которую обычно определяют по пороговому потенциалу проявления, зависят от размера центра скрытого изображения [7—9].

<sup>1</sup> В качестве такого вещества можно, например, использовать  $\text{NH}_4\text{CNS}$ ,  $\text{NaCNS}$ ,  $\text{KCN}$ . Для фиксирования можно использовать 4—8-молярные растворы вместо 1.0—1.3-молярных растворов тиосульфата. Вероятно, для этого придется сильно дубить желатину. Растворение металлического серебра увеличится во много раз.



Сравнение затраты энергии ионизирующими частицами на образование одного атома серебра при радиолитзе в различных несенсибилизированных эмульсиях [12, 13] показывает, что специальные мелкозернистые ядерные эмульсии обладают наибольшей эффективностью. Поэтому можно полагать, что в этих эмульсиях размеры центров скрытого изображения будут находиться в лучшем соответствии с потерями энергии заряженными частицами. Интересно выяснить, каким образом те или иные различия между центрами скрытого изображения в следах частиц с разной ионизирующей способностью влияют на результаты последующей фотографической обработки.

В настоящей работе изучается влияние размеров микрокристаллов галоидного серебра и концентрации золота в эмульсии на величину  $\Delta E_{min}$  и зависимость характеристик следов заряженных частиц от величины окислительно-восстановительного потенциала проявителя.

### Методика и результаты эксперимента

Для обработки эмульсий использовались системы окисно-закисного железа, ранее описанные в работах [9, 10]. Измерения Ox-Red-потенциала растворов проводились с помощью платинового электрода относительно насыщенного каломельного электрода. Применявшиеся растворы не обладают хорошей стабильностью потенциала в присутствии кислорода воздуха. Изменение Ox-Red-потенциала растворов составляло от 5 до 50 мВ/час в зависимости от начальной величины потенциала. Для устранения дрейфа потенциала применялось титрование проявляющего раствора по каплям растворами солей окисного или закисного железа (в зависимости от направления дрейфа потенциала) при постоянном потенциометрическом контроле в течение всего времени обработки. Это позволило поддерживать потенциал растворов постоянным с точностью  $\pm 2$  мВ.

Эмульсии П-9<sub>0</sub>, ПР<sub>2</sub> и А-2 (с диаметрами микрокристаллов галоидного серебра соответственно 0,06, 0,12 и 0,18 мк) прощитывались раствором соли урана и облучались нейтронами для получения следов  $\alpha$ -частиц и осколков деления. Путем обработки экспонированных эмульсий в растворах с различными Ox-Red-потенциалами определялись пороговые потенциалы проявления и окисления центров скрытого изображения следов  $\alpha$ -частиц и осколков деления. Для изучения влияния концентрации золота в эмульсии на пороговые потенциалы проявления и окисления в эмульсию вводились перед поливом различные по количеству золота добавки.

На рис. 1, а показано изменение пороговых потенциалов в эмульсии ПР<sub>2</sub> (несенсибилизированной) в зависимости от количества золота, введенного в эмульсию перед поливом. Как видно из рисунка, потенциалы проявителя при введении золота без последующего химического созревания изменяются весьма мало (для данной эмульсии она составляла  $\sim 30$  МэВ по протонам). Специальные опыты показали, что химическое созревание, повышающее чувствительность до релятивистской, изменяет пороги проявления и окисления центров скрытого изображения, созданных  $\alpha$ -частицами, всего на 15—20 мВ, т. е. в значительно меньшей степени, чем изменение концентрации золота в эмульсии. При увеличении концентрации золота происходит весьма резкое расширение области эквивалентного потенциала (при котором не происходит ни проявления, ни окисления). Поэтому в эмульсиях с большой концентрацией золота уже нельзя по пороговым потенциалам сколько-нибудь точно определить значение  $\Delta E_{min}$ .

Аналогичное влияние на пороговые потенциалы проявления и окисления будет оказывать и купание эмульсии перед экспозицией в растворе, содержащем  $\text{HAuCl}_4$  и  $\text{KCNS}$ . На рис. 1, б приведены зависимости пороговых потенциалов от концентрации раствора  $\text{HAuCl}_4$  при купании эмульсий П-9<sub>0</sub> и А-2. Время купания во всех случаях составляло 1 час. Кри-

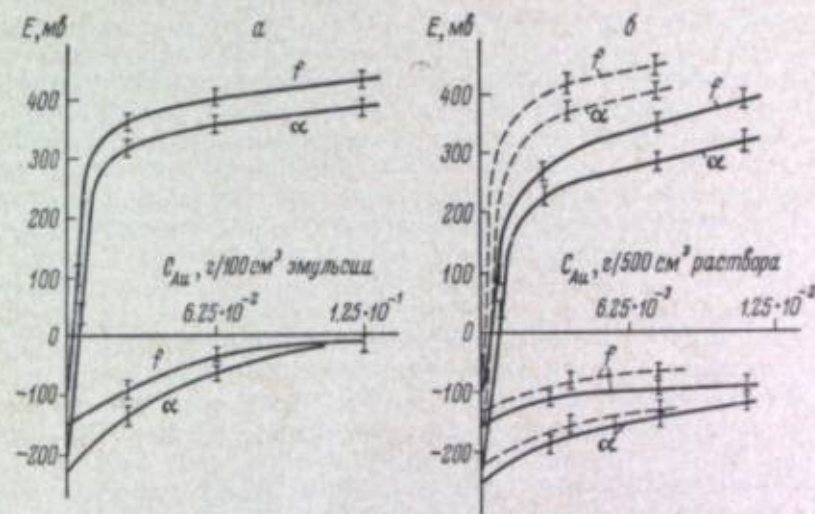


Рис. 1. Зависимость пороговых потенциалов проявления и окисления скрытого изображения  $\alpha$ -частиц и осколков деления от содержания золота в эмульсии.

а — введение золота в жидкую эмульсию перед поливом; б — купание эмульсий П-9<sub>0</sub> и А-2 в растворе золотохлористоводородной кислоты с ронидом калия перед экспозицией.

вые рис. 1, б не обнаружили отличий от кривых рис. 1, а. Специальная проверка показала, что длительное промывание водой после купания в растворе  $\text{HAuCl}_4$  не изменяет величины пороговых потенциалов, если между купанием и промыванием эмульсия высушивается, но весьма сильно уменьшает эффект купания, если сушку не производить.

Из представленных в табл. 1 данных о пороговых потенциалах окисления и проявления центров скрытого изображения при действии  $\alpha$ -частиц и осколков деления в эмульсиях П-9, ПР-2 и НИКФИ А-2 видно, что наибольшая разница (100 мВ) между порогами проявления следов  $\alpha$ -частиц и осколков деления наблюдается в эмульсии П-9 без золотой сенсибилизации. Для этой эмульсии существует такая область Ox-Red-потенциалов проявителя, при которой происходит проявление следов осколков деления и одновременно отбеливание скрытого изображения следов  $\alpha$ -частиц.

В табл. 2 представлены средние суммарные длины следов осколков деления в эмульсии П-9<sub>0</sub> при потенциалах проявителя выше порога проявления следов  $\alpha$ -частиц.

Эти данные показывают, что для эмульсии П-9<sub>0</sub> существует некая область потенциалов проявителя, лежащая несколько выше порога проявления следов  $\alpha$ -частиц, в которой следы делительных событий сохраняют свою длину. При дальнейшем увеличении Ox-Red-потенциалов проявителя ( $E$ ) длина следов осколков деления уменьшается. Отме-

Таблица 1

$d$ , мк	0.06	0.12	0.18
$E'_{sp} - E_{sp}^a$ , мВ	100	75	70
$E'_{sp} - E_{ox}^a$ , мВ	70	45	30
$E'_{ox} - E_{ox}^a$ , мВ	125	100	95



Таблица 2

$E$ , мВ	—	-240	-225	-210	-190	-170
$\bar{z}$ , мкс	$24.8 \pm 1.5$ *	$25.0 \pm 1.5$	$24.6 \pm 1.3$	$23.5 \pm 1.4$	$22.6 \pm 1.5$	$20.8 \pm 1.4$

\* Проявлено в ID-19 в обычном режиме.

тим, что подобная же, хотя и более узкая, область потенциалов была найдена нами для эмульсии  $PR_2$ , но не была обнаружена для эмульсии А-2, в которой уже при потенциале вблизи порога проявления  $\alpha$ -частиц длина следа осколка не сохраняется. При правильном выборе потенциала проявителя и проведении потенциометрического контроля за постоянством потенциала во время проявления действие таких факторов как температура и концентрация проявителя и длительность проявления становится менее критичной. Можно говорить о том, что в данном случае процесс разделения скрытого изображения  $\alpha$ -частиц и осколков деления имеет пороговый, а не динамический характер. Так, например, в методике, применяемой в работе [6], разделение следов осколков деления и  $\alpha$ -частиц основано на разности индукционных периодов проявления этих следов и при длительной обработке проявляются как те, так и другие следы.

В методиках окисления скрытого изображения с помощью ферроцианида калия или хромовой кислоты Ox-Red-потенциал окислителей также выше порогов окисления скрытого изображения следов обоих типов частиц, и при длительной обработке происходит разрушение центров как в следах  $\alpha$ -частиц, так и в следах осколков деления. В нашем случае происходит проявление только таких зерен эмульсии, центры скрытого изображения которых имеют потенциалы порогового проявления выше потенциала проявителя, а увеличение длительности проявления не изменяет результата.

### Обсуждение результатов

Как уже упоминалось выше, введение золота в эмульсию без последующего созревания не повышает чувствительности. Весьма мало вероятно, чтобы при этом происходило и какое-либо изменение центров чувствительности. Однако, как было показано, происходит весьма значительное изменение пороговых потенциалов окисления и проявления центров скрытого изображения. Эти факты, как нам кажется, хорошо объясняются предположением Спраклена [10] о том, что золото, возможно в виде желативатов, адсорбировано на поверхности микрокристаллов эмульсии, а при экспозиции восстанавливается до металла и входит в центры скрытого изображения.

Поскольку нормальный электродный потенциал золота выше нормального электронного потенциала серебра, то электрохимический потенциал такого смешанного центра будет выше потенциала серебряного электрода. При увеличении количества золота в эмульсии содержание его в центрах скрытого изображения повысится. Однако проявление микрокристалла в целом не может идти, когда Ox-Red-потенциал проявителя выше  $E_{Ag}$ . В соответствии с этим пороги проявления скрытого изображения при увеличении количества золота будут приближаться к величине  $E_{Ag}$ , а порог окисления скрытого изображения при увеличении содержания золота в скрытом изображении будет приближаться к электродному потенциалу золота. Кривые рис. 1 не противоречат такой картине.

Для подтверждения справедливости высказанного предположения было проведено измерение потенциалов проявления и окисления центров скрытого изображения в зависимости от длительности обработки в растворе золотохлористоводородной кислоты с роданидом калия после экспозиции. Ранее уже было найдено Я. М. Веприком [11], что потенциал проявления центра скрытого изображения при этом повышается. В работе [13] с помощью активационного анализа показано, что в результате такой обработки образуется позолоченный серебряный центр, количество золота в котором возрастает по мере увеличения длительности золотой обработки. Результаты измерения зависимости порогов окисления и проявления от длительности золочения центров скрытого изображения после экспозиции представлены на рис. 2. Сходство этих кривых говорит о том, что и в первом случае центры скрытого изображения содержат золото.

С этой точки зрения разница в порогах проявления следов одних и тех же частиц в различных эмульсиях может быть связана в первую очередь с различным содержанием золота в этих эмульсиях. Кроме того, из рис. 1 видно, что пороги проявления и окисления скрытого изображения повышаются с увеличением размеров микрокристаллов галоидного серебра. Поэтому, на наш взгляд, нельзя на основании наличия разницы в порогах проявления одних и тех же частиц в разных эмульсиях говорить о различиях в дисперсности центров чувствительности в этих эмульсиях, как это было сделано в [9].

При введении золота в эмульсию проявляется большая область эквивалентного потенциала, т. е. потенциала, при котором не происходит ни проявления, ни окисления. Даже при обработке экспонированных эмульсий в течение 48 часов в проявителе с потенциалом в этой области не было замечено никаких изменений при последующем проявлении. Существование такой широкой области эквивалентного потенциала можно объяснить с точки зрения термодинамики. Проявитель с Ox-Red-потенциалом в этой области начинает восстанавливать галоидное серебро. Однако при этом сразу же возрастает содержание серебра в центре скрытого изображения или вблизи него, и пороговый потенциал проявления такого центра будет резко уменьшаться. Некоторое увеличение размеров центра скрытого изображения ведет, конечно, к повышению потенциала, но этот эффект будет гораздо меньше, чем уменьшение порогового потенциала вследствие возрастания содержания серебра в центре скрытого изображения.

Кривые рис. 1 показывают, что увеличение золотого содержания в центре, если оно пропорционально количеству введенного в эмульсию золота, оказывает более сильное влияние на величину порогового потенциала центра скрытого изображения, чем небольшие изменения его размеров. Влияние размеров центра скрытого изображения на пороговые потенциалы видно на рис. 1: удельные ионизационные потери  $\alpha$ -частицы в среднем в 20 раз меньше удельных ионизационных потерь осколка деления, а пороговые потенциалы проявления следов этих частиц различаются не более, чем на 50 мВ. Изменение же содержания золота вызывает гораздо большие изменения пороговых потенциалов. В эмульсиях, не содержащих золота, при увеличении размеров центров скрытого изо-

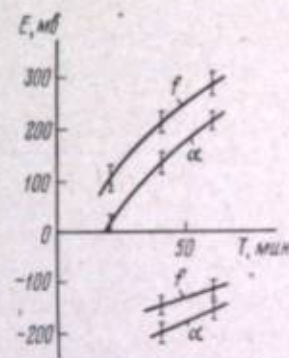


Рис. 2. Зависимость пороговых потенциалов окисления и проявления скрытого изображения  $\alpha$ -частиц и осколков деления от длительности обработки в растворе золотохлористоводородной кислоты с роданидом калия после экспозиции.



бражения происходит лишь увеличение пороговых потенциалов и поэтому проявление, если оно началось, будет идти далее и при более положительных потенциалах, вплоть до потенциала  $E_{Ag}$ .

Наличие двух противоположных по направлению влияний на пороговый потенциал центров скрытого изображения в эмульсии, содержащей золото в начальный период проявления, позволяет в принципе найти подход к решению проблемы о снятии изображения более сильно ионизующих частиц при сохранении чувствительности к слабо ионизующим частям. Так, избирательное весьма слабое проявление следов сильно ионизующих частиц при потенциале выше порога начала проявления слабо ионизующих частиц понизит пороговый потенциал центров скрытого изображения следов сильно ионизующих частиц и их можно будет окислить, не затронув скрытого изображения слабо ионизующих частиц.

Проведенные нами опыты во всей области эквивалентного потенциала показали, что эти термодинамические соображения подтверждаются лишь отчасти. Оказалось, что можно действительно понизить пороговый потенциал окисления скрытого изображения осколков деления на 20—30 мВ, но этого еще недостаточно для получения вышеуказанного эффекта. Результаты этих опытов в настоящее время интерпретировать весьма затруднительно из-за отсутствия в фотографии определенных и однозначных данных о структуре центров скрытого изображения и о том, как происходит восстановление серебра в самый начальный момент проявления.

Было бы весьма интересно провести такое избирательное понижение содержания серебра в центрах скрытого изображения сильно ионизующих частиц методом физического проявления после фиксации. В этом случае механизм роста центра проявления хорошо известен. Но в настоящее время еще не имеется таких физических процессов, которые позволили бы с нужной точностью контролировать скорость процесса и различия между окислительным потенциалом проявляющего вещества и потенциалом серебра в растворе.

Автор выражает глубокую признательность Н. А. Перфильеву за обеспечение результатов и достойный интерес к работе и Н. Р. Шиндлеровой и В. И. Зезелову за помощь в работе и ценные замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. А. Перфильев, Докл. АН СССР, 42, 208, 1964; 43, 14, 1964.
- [2] E. F. G. Natta, Nature, 158, 872, 1946.
- [3] H. F. G. Natta, Ann. de Phys., 6, 325, 1951.
- [4] А. М. Селенцова, Е. Д. Довен, В. П. Перелыгин, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 638.
- [5] P. Desjardins, Photographie Cosmique II, ed. Univ. Montreal, 1958.
- [6] P. Desjardins, A. de Szilard, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 297.
- [7] К. М. Я. Теория фотографического процесса, Госиздат, М.—Л., 1948, 346.
- [8] W. Reinberg, C. R. de Minjet, Rec. trav. Chim., 57, 594, 1938.
- [9] H. V. V. Photographie Cosmique II, ed. Univ. Montreal, 1958.
- [10] D. M. S. S. J. Photogr. Sci., 9, 145, 1961.
- [11] Н. М. Вольск, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 7, 384, 1962.
- [12] К. С. Богомолов, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 3, 321, 1958.
- [13] Н. И. Комаров, Н. А. Перфильев, Ж. науч. и прикл. fotogr. и кинематогр., 9, 360, 1964.

А. Л. КАРТУЖАНСКИЙ

### О ВОЗМОЖНОСТИ ДИСКРИМИНАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ИХ В ВИДЕ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ПОЧЕРНЕНИЙ

В последние годы практика физического эксперимента неоднократно сталкивалась с ситуацией, в которой регистрация исследуемого излучения в виде фотографического почернения по необходимости осуществляется вместе с регистрацией фоновых излучений иной природы, также воздействующих на фотослой и делающих регистрацию исследуемого излучения затруднительной, если вообще возможной. Некоторые аспекты подобной ситуации в условиях космических исследований были рассмотрены, в частности, покойным Г. Игдой [1].

В связи с этим возникает вопрос, располагает ли фотографическая наука методами, позволяющими создать или усилить различия полезного почернения (созданного изучаемым излучением) и фонового, например усилить полезное почернение без такого же усиления фонового, или ослабить фоновое почернение без такого же ослабления полезного, или, наконец, объединить то и другое, усилив полезное и ослабив фоновое почернение? Иными словами, ставится вопрос о возможности надежно дискриминировать излучения фотографическими методами. Рассмотрению таких возможностей и посвящена данная статья.

Сама по себе задача о создании условий для надежной дискриминации не является для фотографии вполне новой. Так, в ядерной фотографии уже давно применяются разнообразные приемы неодинакового изменения — ослабления или усиления — следов различных частиц с целью усугубить различия этих следов по ширине, оптической плотности, числу зерен на единицу длины и т. д., и тем дискриминировать частицы. Известная аналогия между такой дискриминацией и дискриминацией, составляющей предмет нашего рассмотрения, безусловно имеется, а применение многих приемов по соображениям аналогии может быть полезным и обсуждается ниже. Однако нельзя упускать и весьма существенное различие этих двух видов дискриминации.

При дискриминации частиц по следам неодинаковому изменению подвергаются пространственно разделенные следы; это значит, что среди микрокристаллов, участвовавших в образовании одного из дискриминируемых следов, нет микрокристаллов, одновременно участвовавших и в образовании какого-либо другого из них. В предполагаемой же дискриминации по почернениям, как правило, имеют дело с участком фотослоя, экспонированным совместно (неважно, в какой последовательности) и исследуемым, и фоновым излучениями. Если все микрокристаллы, впоследствии проявившиеся, экспонированы несколькими излучениями, подлежащими дискриминации, то никаких заметных различий в их по-



ведении по отношению к любому возможному дополнительному воздействию ожидать не приходится, а значит и создание или улучшение дискриминации оказывается невозможным.

Даже если среди микрокристаллов, ставших проявляемыми, некоторые были экспонированы только одним из дискриминируемых излучений, дискриминация может быть лишь несколько улучшена, но не сделана полной, так как остается группа микрокристаллов, проявляемость которых есть результат совместного действия излучений. Для полной дискриминации необходимо, чтобы ни один микрокристалл не приобрел способности к проявлению за счет совместного действия излучений; хотя теоретически такой случай и возможен, вероятность его ничтожна. Поэтому для дальнейшего согласимся не требовать полного разделения действия излучений при их совместной фотографической регистрации и рассматривать приемы, ограниченно улучшающие их дискриминацию. Такая оговорка, однако, не лишает поставленную задачу практического интереса.

В соответствии с ходом обычного фотографического процесса дополнительные воздействия, имеющие целью улучшить дискриминацию излучений, могут быть приложены к фотослою в одной из следующих стадий: 1) до экспонирования, 2) во время экспонирования, 3) между экспонированием и проявлением, 4) во время проявления, 5) после проявления. Признак стадии, на которой осуществляется воздействие, служит естественной основой для классификации и рассмотрения возможных методов дискриминации.

1. Создание условий для дискриминации в стадии, предшествующей экспонированию, означает создание тем или иным путем резкого различия чувствительностей эмульсии к дискриминируемым излучениям. Такое различие не может быть достигнуто никакими способами химической sensibilization, поскольку все они увеличивают поверхностные центры чувствительности; последние же, как известно, эффективно сосредотачивают скрытое изображение при действии любых излучений. Различие не может быть достигнуто и теми способами десенсибилизации, при которых центры чувствительности подвергаются разрушению, например окислению, опять-таки в силу универсальности центров при действии любых излучений.

По-видимому, единственная возможность создать условия, благоприятствующие дискриминации еще до экспонирования, состоит в том, чтобы использовать неодинаковую роль глубинных, а также мелких поверхностных ловушек электронов при действии различных излучений. Для образования дополнительных глубинных центров можно использовать контролируруемую засветку микрокристаллов в стадии их роста с последующим наращиванием слоя  $AgHal$  поверх возникших центров; однако такой прием пока оправдал себя только на высокооднородных опытных эмульсиях с кубическими микрокристаллами [2]. Для образования дополнительных поверхностных ловушек можно использовать десенсибилизирующие красители, которые, адсорбируясь на  $AgHal$ , конкурируют с центрами чувствительности как места акцептирования электронов проводимости.

Роль этих дополнительных ловушек, вероятно, особенно велика в отсутствие основных центров чувствительности, т. е. либо в несозревших, либо в подвергшихся окислительной обработке эмульсиях, и именно здесь можно ожидать наибольших различий чувствительности к излучениям, разным по топографии создаваемого ими скрытого изображения. Что такой путь дискриминации, вероятно, вполне реален, можно предположить в связи с результатами недавней нашей работы [3], в которой десенсибилизация пинакринолом желтым в сочетании с последующим

чисто поверхностным проявлением позволила уменьшить чувствительность к  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучению много больше, чем к свету, а в сочетании с глубинным проявлением после предварительного поверхностного отбеливания — уменьшить чувствительность к свету при одновременном увеличении чувствительности к корпускулярным излучениям.

2. Создание условий для дискриминации во время экспонирования означает, что на процесс образования скрытого изображения производится непосредственное воздействие, неодинаковое по своим последствиям для действия разных излучений. В частности, такое воздействие может состоять в изменении температуры, скорее всего в сторону значительного ее уменьшения, во время экспонирования. Как известно (см. например [4]), различия температурного хода чувствительности к действию различных излучений весьма значительны. Поэтому есть основания считать, что надлежащим выбором температурных условий экспонирования (если условия опыта допускают это) можно значительно усилить различия чувствительностей к дискриминируемым излучениям. Так, при температуре жидкого азота светочувствительность всех эмульсий на несколько порядков ниже, чем при комнатной, а чувствительность к частицам, вплоть до слабоионизирующих, остается на уровне 20—80% (для разных эмульсий и частиц) от исходной.

Кроме варьирования температурных условий, в принципе возможно повлиять на дискриминацию также путем варьирования влажностных условий экспонирования. Хотя такие приемы никогда не изучались, недавние данные [5] о различном характере десенсибилизирующего действия влаги на центры чувствительности и центры скрытого изображения — обратимом в первом случае и необратимом во втором — дают основание думать, что влажностные приемы дискриминации возможны по крайней мере в случае последовательного, а не одновременного действия излучений, подлежащих дискриминации.

3. Создание условий для дискриминации в промежутке времени между экспонированием и проявлением может быть осуществлено большим числом приемов, так или иначе усиливающих различия дисперсности скрытого изображения, свойственные дискриминируемым излучениям. Такими приемами являются эффект Гершеля, термическая или химическая (ускоренная) регрессия, окисление скрытого изображения и т. д.

Хотя для рассматриваемой здесь задачи эти приемы не использовались, они многократно применялись к ядерным эмульсиям для дискриминации следов, а также для значительного уменьшения  $\gamma$ -фоновое почернения, препятствующего различению следов, без значительного ослабления последних. В такой постановке задача уже заметно приближается к интересующей нас. Из полученных при этом результатов заслуживают упоминания многочисленные опыты лаборатории Кюэра (см., например, [6—8]) и других по снятию или ослаблению  $\gamma$ -фоновое почернения с помощью эффекта Гершеля, иногда в сочетании с особыми условиями проявления, а также успешное применение регрессии для той же цели (Левандовский [9]). Нельзя не отметить, что все перечисленные приемы связаны с ослаблением скрытого изображения; приемы же, связанные с усилением, например латенсификация, полезных результатов не дали. Этот факт легко понять, если рассмотреть общий характер зависимости свойств скрытого изображения от его дисперсности.

Пусть  $A$  — количественная характеристика некоторого свойства центра скрытого изображения и  $N$  — число атомов в нем.  $A$  может быть как возрастающей функцией  $N$  (например, устойчивость к какому-либо воздействию), так и убывающей (например, дисперсность, скорость разрушения и т. д.), но всегда изменение  $A$  с  $N$  таково, что оно велико в области малых  $N$ , а в области больших  $N$  мало, обнаруживая тенденцию



к насыщению; примером могут служить данные [10]. Условием хорошей дискриминации является достаточное различие значений  $A$  для двух излучений даже при незначительном различии  $N$ , т. е. большое по абсолютной величине значение  $dA/dN$ . Поэтому уменьшение  $N$  всегда приводит к увеличению  $|dA/dN|$  и улучшению дискриминации, тогда как увеличение  $N$  приводит к результату прямо противоположному.

Поскольку дисперсность скрытого изображения для действия частиц всегда выше ( $N$  меньше), чем для действия света, свести к минимуму первое из рассмотряемых приемов легче, чем второе. Этим сразу определяется круг задач, решаемых с помощью данной группы приемов.

4. Создание условий для дискриминации во время проявления предполагает создание значительных различий в скорости проявления почернений, образованных действием дискриминируемых излучений. Как и приемы, рассмотренные в предыдущем пункте, эти приемы обычно основаны на зависимости одного из свойств центров скрытого изображения — их каталитической активности — от  $N$ , и поэтому к ним относятся все рассмотренные выше соображения. Как и в отношении приемов предыдущего пункта, имеющиеся в литературе данные о применении таких приемов относятся исключительно к дискриминации следов частиц или к использованию замедленного проявления  $\gamma$ -фонового почернения по сравнению с проявлением следов частиц в ядерных эмульсиях.

Однако надлежащим выбором свойств проявителя можно добиться не только значительного различия скоростей проявления. Как было показано в работах лаборатории Кьюэра (например [11]), а затем Кочеровым [12], выбором окислительно-восстановительного потенциала проявляющей системы удается одновременно добиться проявления группы центров одного размера и не только не проявления, но, напротив, окисления группы центров другого размера. Таким образом, в принципе оказалось возможным осуществить наиболее выгодный вариант улучшения дискриминации, усиливающий действие одних частиц и ослабляющий действие других. Правда, проведенные опыты опять-таки относятся к индивидуальным следам, и переход к почернениям может сказаться неблагоприятно вследствие более полидисперсного характера распределения центров по размерам.

Возможно, для дискриминации почернений может оказаться полезным тот или иной вариант физического проявления, подобно тому, как оно оказалось полезным для дискриминации следов. Однако никаких данных по этому поводу пока не имеется.

5. Создание условий для дискриминации после завершения химико-фотографической обработки возможно лишь при условии, если почернения, одинаковые по плотности, но созданные действием разных излучений, окажутся различными по каким-либо свойствам. Впрочем, имеются данные, показывающие, что такие различия действительно существуют.

Как показали электронно-микроскопические исследования структуры проявленных зерен (например [13]), имеется закономерное изменение степени компактности зерен с изменением природы действующего излучения. Это изменение можно в свою очередь однозначно связать с изменением дисперсности центров скрытого изображения, на которых начинается проявление. Общая закономерность здесь такова: поскольку с увеличением дисперсности центров (определяемой в первую очередь особенностями действующего излучения) уменьшается скорость проявления, то проявленные зерна должны становиться все менее компактными; последнее подтверждается опытом [14]. Различия же компактности зерен сказываются на оптических свойствах образуемых ими почернений, что и находит свое выражение на опыте в неодинаковом фотометрическом

эквиваленте почернений, одинаковых по плотности, но созданных действием разных излучений [15].

Коль скоро одинаковые почернения могут состоять из зерен разной компактности, то и способность их к реакциям с ослабителями и усилителями изображения, во многом определяемая площадью реакционно-способной поверхности зерен, не может не зависеть от компактности зерен. Именно в этом и состоит основа тех немногочисленных способов, которыми до сих пор пробовали осуществить дискриминацию уже в стадии проявленного изображения. Успешно прошло опробование обычных фотографических усилителей [16] для дискриминации частиц по их следам. Также успешно использовано ослабление обычным фермеровским ослабителем  $\gamma$ -фонового почернения для улучшения различаемости следов [17]. Для интересующей же нас задачи пока известно только об улучшении дискриминации светового и  $\gamma$ -фонового почернений с помощью ослабителя [18], причем в полном согласии с имеющимися данными о степени компактности зерен второе из этих почернений отбеливалось заметно быстрее, чем первое.

Рассмотренные в настоящей статье приемы в подавляющем большинстве не являются новыми для фотографии и нуждаются лишь в опробовании применительно к поставленной задаче. Следует, однако, подчеркнуть, что выбор того или иного метода имеет сплошь и рядом принципиальные ограничения. Так, все методы п. 3 позволяют ослаблять действие ядерных излучений больше, чем действие света, но не наоборот, в то время как понижение температуры во время экспонирования пригодно только для большего ослабления действия света, нежели ионизирующих излучений. Но даже и тогда, когда выбранный метод приводит к желаемому результату, он может быть далеким от оптимального; именно поэтому мы считали важным показать, что в арсенале фотографии имеется широкий набор принципиально разнообразных методов для решения поставленной задачи, могущих удовлетворить всевозможным требованиям земного и космического эксперимента.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] H. Yagoda, *Korpuskularphotographie IV*, München, 1963, 618.
- [2] E. Moisar, S. Wagner, *Ber. Bunsenges. phys. Chem.*, 67, 356, 1963.
- [3] А. Л. Картужанский, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 10, 446, 1965.
- [4] М. Дебовэ, П. Кюэр, в кн. «Ядерная фотография», Изд. АН СССР, 1962, 59.
- [5] К. М. Романовская, К. С. Богомолов, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 9, 6, 1964.
- [6] P. Süer, H. Braun, *C. R. Acad. sci.*, 242, 486, 1956.
- [7] P. Süer, R. Schmitt, *C. R. Acad. sci.*, 242, 2831, 1956.
- [8] H. Braun, *Photographie corpusculaire II*, ed. Univ. Montreal, 1959, 247.
- [9] Z. Lewandowsky et al., *Acta phys. polon.*, 19, 599, 1960.
- [10] А. Л. Картужанский, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 7, 57, 1962.
- [11] А. Браун, в кн. «Ядерная фотография», Изд. АН СССР, 1962, 98.
- [12] Н. П. Кочеров, настоящий сборник, 85.
- [13] Н. П. Кочеров, Н. А. Перфилов, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 8, 416, 1963.
- [14] H. Morimoto, N. Mori, Y. Sobue, *J. Soc. scient. fotogr. Japan*, 25, 71, 1962.
- [15] К. В. Вендровский, А. Л. Картужанский, О. В. Пясецкая, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 8, 67, 1963.
- [16] А. Крейчи, И. Б. Блумберг, Л. И. Шур, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 11, № 5, 1966.
- [17] V. Sen, M. L. Chatterjee, *Nucl. Instrum. a. Methods*, 22, 122, 1963.
- [18] А. Л. Картужанский, *Ж. научн. и прикл. fotogr. и кинематогр.*, 11, № 4, 1966.



Я. М. ВЕПРИК

### ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ КАК ПРИНЦИП ОГРАНИЧЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЭМУЛЬСИИ ВО ВРЕМЕНИ

Помещенные на космические корабли-спутники фотоэмульсионные стопки подвергаются воздействию ионизирующих частиц в течение всего времени нахождения корабля в космосе. Указанное обстоятельство не позволяет решать задачи, связанные с экспонированием эмульсионных слоев в течение заданного времени. Кроме того, оказывается невозможным отнести то или иное зарегистрированное событие к определенному моменту времени.

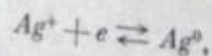
Первые опыты по созданию способа ограничения времени экспонирования эмульсионных слоев в космосе были проведены в 1960 г.; их результаты опубликованы нами ранее [1, 2]. Данное сообщение посвящено теоретическому обоснованию созданного способа и освещению новых возможностей в пачатом направлении.

Все современные работы, посвященные природе и механизму образования скрытого фотографического изображения, несмотря на значительные расхождения по многим пунктам, согласны в одном: возникновение и рост скрытого изображения представляют собой многократное чередование движения электронов проводимости и междуузельных ионов  $Ag^+$  к определенным местам закрепления в микрокристаллах фотоэмульсии [3, 4]. Таким образом, до тех пор пока в эмульсионном слое присутствует галогенид серебра и слой подвергается облучению, имеются все необходимые условия для возникновения и роста центров скрытого изображения.

Для того чтобы образовавшийся центр скрытого изображения стал видимым, необходимо его проявить. Как известно, существуют два способа проявления: «химический» и «физический». При химическом проявлении серебро, образующее оптические плотности проявленного изображения, получается за счет восстановления ионов серебра из его галогенида, находящегося в самой эмульсии, а при физическом проявлении — за счет восстановления азотнокислого серебра, специально введенного в проявляющий раствор.

Электрохимическая теория проявления [5, 6] рассматривает реакцию проявления исходя из термодинамической теории гальванического элемента. Изменение свободной энергии реакции проявления может быть определено путем измерения электродвижущей силы гальванического элемента, в котором протекает эта реакция.

На катоде такого элемента будет происходить восстановление ионов серебра по уравнению



и потенциал его будет равен

$$E_{Ag} = E_{Ag}^0 + \frac{RT}{F} \ln [Ag^+].$$

На аноде будет происходить окисление проявляющего вещества по уравнению



и потенциал этого электрода будет выражаться соотношением

$$E_{Red} = E_{Red}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]} + \frac{RT}{nF} \ln f(a_{H^+}).$$

Из приведенных уравнений следует, что процесс проявления будет происходить в том случае, если разность окислительно-восстановительных потенциалов центра проявления и проявляющего вещества  $\Delta E = E_{Ag} - E_{Red}$  будет положительна и достаточно велика (больше 80—140 мВ).

Возрастание величины  $\Delta E$  сопровождается ускорением проявления, и наоборот, уменьшение ее влечет за собой прекращение проявления. Аналитическими выражениями сказанного являются следующие уравнения:

для физического проявления

$$\Delta E = E_{Ag} - E_{Red} = \left[ E_{Ag}^0 + \frac{RT}{F} \ln [Ag^+] - \left[ E_{Red}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]} + \frac{RT}{nF} \ln f(a_{H^+}) \right] \right] \quad (1)$$

и для химического проявления

$$\Delta E = E_{Ag} - E_{Red} = \left[ E_{AgBr}^0 - \frac{RT}{nF} \ln [Br^-] - \left[ E_{Red}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]} + \frac{RT}{nF} \ln f(a_{H^+}) \right] \right], \quad (2)$$

где

$$E_{AgBr}^0 = E_{Ag}^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{L}{[Br^-]}, \quad L = [Ag^+][Br^-],$$

$E_{Ag}^0$  — стандартный потенциал серебра,  $[Ag^+]$  — концентрация ионов серебра в растворе проявителя,  $E_{Red}^0$  — стандартный окислительно-восстановительный потенциал проявляющего вещества (при  $a_{H^+} = 1$ ),  $[Ox]$  — концентрация окисленной формы проявляющего вещества,  $[Red]$  — концентрация восстановленной формы проявляющего вещества,  $E_{AgBr}^0$  — стандартный потенциал бромосеребряного электрода,  $[Br^-]$  — концентрация ионов брома в растворе проявителя,  $f(a_{H^+})$  — функция, определяющая зависимость окислительно-восстановительного потенциала проявляющего вещества от активности ионов водорода в растворе проявителя.

Факт обратимости реакции проявления  $Ag^+ + Red \rightleftharpoons Ag^0 + Ox$  в сочетании с анализом приведенных выше уравнений (1) и (2) в конечном итоге привели к выводу о возможности управления реакцией проявления путем изменения концентраций исходных или конечных продуктов, участвующих в данной реакции. В основе созданного способа ограничения времени экспонирования эмульсионных слоев в условиях космических



полетов как раз и лежит такая возможность управления реакцией проявления.

Основные положения электрохимической теории проявления были применены при создании способа ограничения экспонирования эмульсионных слоев следующим образом.

Эмульсионные слои после экспонирования в течении заданного времени подвергались химическому проявлению, после чего помещались в консервирующий раствор, одним из компонентов которого был бромид калия. Из приведенных выше уравнений видно, что повышение концентрации ионов брома приведет к понижению концентрации ионов серебра, т. е. к уменьшению величины потенциала серебра ( $E_{Ag}$ ), а так как  $\Delta E = E_{Ag} - E_{Red}$ , то значение  $\Delta E$  может оказаться недостаточным для протекания реакции проявления.

Таким образом, сущность способа заключается в том, что эмульсионные слои после заданного времени экспонирования и химического проявления помещались в консервирующий раствор, окислительно-восстановительный потенциал которого не допускал проявления центров скрытого изображения, образующихся в эмульсионных слоях при дальнейшем нахождении корабля в космосе.

В данном опыте эмульсионные слои проявлялись химическим способом, т. е. таким, при котором обработка начинается со стадии проявления. В отличие от него метод физического проявления ядерных эмульсий [7—10] позволяет начинать обработку как со стадии проявления, так и со стадии фиксирования. Последний вариант применительно к нашей задаче представляется заманчивым не только тем, что позволяет вести процесс проявления на свету, контролировать ход его под микроскопом, использовать глубинные центры скрытого изображения, но и главным образом тем, что он является одновременно способом ограничения времени экспонирования эмульсионных слоев в космосе.

Если обработка начинается с фиксирования, то эмульсионный слой сразу же освобождается от галогенида серебра и тем самым исключается возможность дальнейшего образования центров скрытого изображения. Однако длительное пребывание облученного эмульсионного слоя в фиксирующем растворе приводит к частичному окислению серебряных центров скрытого изображения, образованных в результате действия ионизирующих частиц [11, 12].

Несравненно меньшей способностью к окислению обладали бы центры проявления, состоящие из атомов металла, нормальный электродный потенциал которого положительнее нормального электродного потенциала серебра. Исходя из указанных соображений, мы провели окисление образовавшихся серебряных центров (после экспонирования эмульсионного слоя) ионами золота и платины, в результате чего происходило восстановление последних до нейтральных атомов. Последующие опыты по обработке позолоченных или платинированных центров показали, что их можно сохранить в стадии фиксирования достаточно полно, чтобы затем вести проявление *n*-окси-фенилглициновым физическим проявителем [13, 14].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Я. М. Веприк, Л. В. Курносова, Л. А. Разоренов, К. Д. Толстов, М. И. Фрадкин, В. С. Чукин, Сб. «Искусственные спутники земли», вып. 11, изд. АН СССР, 1961, 35.
- [2] Я. М. Веприк, В. С. Чукин, Авт. свид., № 26367, 1963.
- [3] А. Л. Картужанский, Усп. физ. наук, 73, 471, 1961.
- [4] R. W. Gurney, N. F. Mott, Proc. Roy. Soc., 164, A, 151, 1938.
- [5] Г. П. Фаерман, Усп. науч. фотогр., 4, 127, 1955.

- [6] W. Reinders, M. C. F. Beukers, Berichte 8. Int. Kongress Phot., Leipzig, 1931, 171.
- [7] R. Schmitt, M. Debeawais-Wack, P. Cüer, Sci. ind. fotogr., 28, 30, 1957.
- [8] Я. М. Веприк, Материалы совещания по методике толстослойных фотоэмульсий, ОИЯИ, 2, 26, 1957.
- [9] Я. М. Веприк, Хим. наука и пром., 5, 670, 1957.
- [10] Я. М. Веприк, С. П. Алмазова, М. И. Трухин, Г. П. Фаерман, Ядерная фотография, изд. АН СССР, 1962, 303.
- [11] Я. М. Веприк, С. П. Процанова, Г. П. Фаерман, Приб. и техн. экспер., № 3, 128, 1959.
- [12] Д. М. Самойлович, Е. С. Барниова, Приб. и техн. экспер., № 3, 46, 1956.
- [13] Я. М. Веприк, Ж. науч. и прикл. фотогр. и кинематограф., 7, 384, 1962.
- [14] Я. М. Веприк, Тезисы докладов научно-технич. конференции ЛИКИ, 1962, 56.



К. С. БОГОМОЛОВ, Т. И. КРЕСТОВНИКОВА,  
М. С. ХАЙКИН, И. И. ЛЕВКОЕВ, В. А. КУХТИН

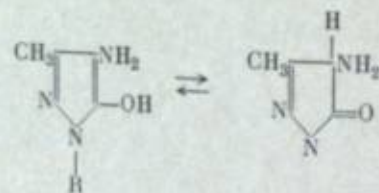
### ИССЛЕДОВАНИЕ 4-АМИНОПИРАЗОЛОНОВ-(5) В КАЧЕСТВЕ ПРОЯВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЯДЕРНОЙ ФОТОГРАФИИ

В настоящее время практически единственным проявляющим веществом, применяемым для проявления толстослойных фотоматериалов, предназначенных для ядерных исследований, является амидол. Однако последний не обеспечивает достаточно однородного проявления по глубине слоя. Поэтому поиски новых проявляющих веществ для ядерной фотографии представляют значительный интерес.

Настоящая работа посвящена исследованию некоторых производных 4-аминопиразолона-(5).

Впервые 4-аминопиразолоны-(5) в качестве проявляющих веществ описаны в 1936 г. [1]. Сравнительно недавно фирмой Агфа запатентовано применение многих соединений этой группы в фотографии [2—4]. Некоторые фотографические свойства 4-аминопиразолонов-(5) описаны в литературе [5—7]. В 1962 г. в Мюнхене на Международном коллоквиуме по ядерной фотографии Фризером и др. было сообщено о возможности использования 4-аминопиразолонов-(5) для проявления ядерных эмульсий [8], однако без указания конкретных данных о применяемых соединениях и их фотографических свойствах.

Нами исследовано проявление ядерных эмульсий рядом 3-метил-4-аминопиразолонов-(5) [1], а также 3-*n*-пропил-, 1-фенил-3-карбоксиметил- и 1-фенил-4-аминопиразолоном-(5). Структурная формула [1] имеет вид

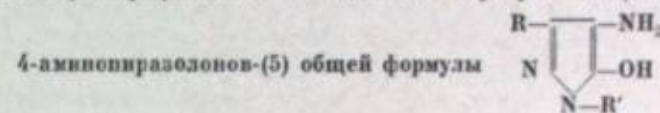


где R=H, алкил, аралкил или арил.

Рассматриваемые в данной работе 4-аминопиразолоны-(5) получались нитрозированием соответствующих пиразолонов-(5) и последующим восстановлением образовавшихся 4-изонитропроизводных хлористым оловом или гидрированием водородом в присутствии никеля Ренея; вещества выделялись и исследовались в виде солянокислых солей.

Исследование действия 4-аминопиразолонов-(5) проводилось на бесподложечных эмульсионных слоях тип БР-1 толщиной  $400 \pm 50$  мк [9] в сравнении с амидолом.

Результаты фотографического исследования при pH = 6.2—7.0 ряда



Заместители		pH=6.2			pH=7.0		
R	R'	N	n	N/n	N	n	N/n
CH <sub>3</sub>	H	16	1.4	11	18	1.7	11
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	H	16	1.4	11	18	1.7	11
CH <sub>3</sub>	H—C <sub>6</sub> H <sub>13</sub>	16	1.4	11	18	1.7	11
CH <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub>	16	1.4	11	18	1.7	11
CH <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	26	1.2	22	28	2.0	14
CH <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	30	1.7	18	32	2.8	11
CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	26	1.2	22	28	2.0	14
CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> OC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	16	1.4	11	18	1.7	11
CH <sub>3</sub>	Cl·C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	26	1.2	22	28	2.0	14
CH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub> HC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Не проявляет.			Не проявляет.		
CH <sub>3</sub>	Cl·C <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	30	1.5	20	34	2.8	12
H	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	26	1.2	22	28	2.0	14
CH <sub>2</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>	16	1.4	11	18	1.7	11
Амидол (для сравнения)		30	2.2	14	32	3.9	8

Слой облучались электронами с энергией 12—14 мэв, полученными на бетатроне с выведенным пучком [10], и обрабатывались как в не-наклеенном, так и в наклеенном на стекло состоянии по методике НИКФИ при pH=6—7 [11].

#### Состав проявителя

Проявляющее вещество — 0.018 M  
Сульфит натрия б/в — 10 г  
Лимонная кислота — до соответствующего значения pH  
Вода дистиллированная — до 1 л

Фотографическая чувствительность оценивалась числом зерен в следе релятивистского электрона на 100 мк пробега частицы (N), а зерновой фон вуали — числом зерен вуали в объеме  $10^{-9}$  см<sup>3</sup> (n).

За меру неоднородности проявления следов заряженных частиц по глубине (I) принималась разность числа зерен в следах, расположенных у поверхности и в глубине слоя, отнесенная к числу зерен в следах, расположенных у поверхности слоя и выраженная в процентах [12].

Результаты фотографических испытаний ряда исследованных 4-аминопиразолонов-(5) при pH=6.2—7.0 приведены в таблице.

Процесс проявления ядерных эмульсий характеризуется, как правило, весьма низким значением pH для получения низкой вуали. Поэтому проявляющие вещества для ядерных эмульсий должны обладать высокой проявляющей способностью при низких pH.

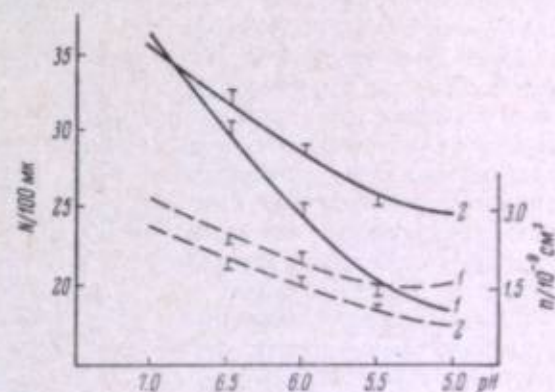


Рис. 1. Кривые изменения N и n в зависимости от pH проявляющего раствора.

1 — амидол, 2 — II; сплошные линии — N, пунктирные — n.



В результате исследования установлено, что способность производных 3-алкил-4-аминопиразолона-(5) проявлять ядерные эмульсии зависит от электронного характера заместителей в первом положении пиразолонового ядра.

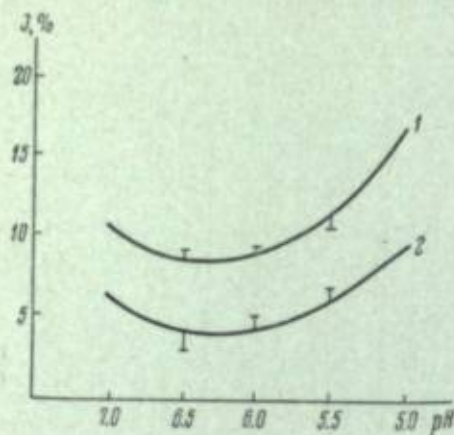


Рис. 2. Кривые изменения  $I$  в зависимости от pH проявляющего раствора.  
1 — амидол, 2 — II.

3-метил- и 3-*n*-пропил-4-аминопиразолон-(5) избирательно проявляет ядерные эмульсии; однако плотность следов заряженных частиц и зерновой фон вуали для этих соединений на 40—50% ниже, чем для амидола. При введении в первое положение пиразолонового ядра 3-метил-4-аминопиразолона-(5) *n*-гексильной и циклогексильной групп плотность следов практически не изменяется, при введении 1- $\beta$ -фенилэтильной и особенно фенильной групп наблюдается значительное повышение плотности следов заряженных частиц при незначительном росте зернового фона вуали.

Введение метильной или метоксигрупп, а также атома хлора в фенильное кольцо пиразолонового ядра 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолона-(5) вызывает в большинстве случаев ослабление проявляющих свойств, вступление же сульфогруппы ведет к резкому снижению способности проявлять ядерные эмульсии. Исключение составили 1-[4'-хлорфенил]-3-метил-4-аминопиразолон-(5): для этого вещества получены несколько

большие плотности следов заряженных частиц в сравнении с 1-фенилпроизводным. Проявители с этим веществом несколько окрашивают эмульсионные слои в желтый цвет, который, однако, не затрудняет микроскопический анализ слоев (ср. [1, 5]).

При обработке ядерных эмульсий проявителями с 1-фенил- и 1-фенил-3-карбэтоксиметил-4-аминопиразолоном-(5) получены более низкие фотографические показатели в сравнении с 1-фенил-3-метил-4-аминопроизводным.

Большинство исследованных 1-арилпроизводных 3-метил-4-аминопиразолона-(5) и соответствующее 1- $\beta$ -фенилэтильное производное представляют интерес в практическом отношении: при проявлении ядерных эмульсий они либо позволяют достигнуть более высокой фотографической чувствительности ( $N$ ) (1-фенил- и 1-[4'-хлорфенил]- (1-[2'-толил]-, 1-[2'-хлорфенил]- и 1- $\beta$ -фенилэтилпроизводные) и большие значения  $N/n$ .

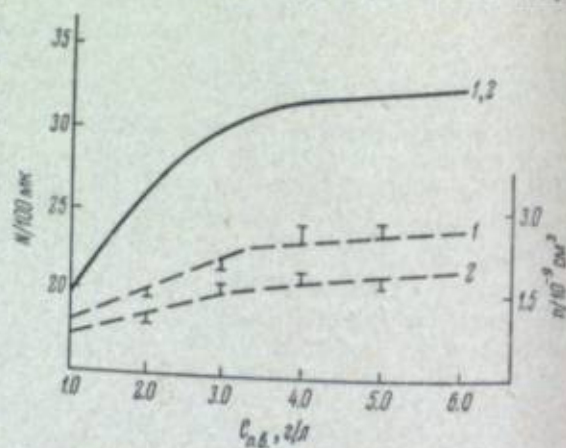


Рис. 3. Кривые изменения  $N$  и  $n$  в зависимости от  $C_{Na_2SO_3}$ .  
Обозначения те же, что на рис. 1.

Более подробно исследован наиболее доступный хлоридат 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолон-(5), далее обозначаемый II.

Было выяснено влияние величины pH и состава проявителя, а также условий обработки при применении II в сравнении с амидолом на фотографические показатели 400-микронных эмульсионных слоев тип БР. Применялись проявители вышеуказанного состава, причем изменялось лишь количество какой-либо одной составляющей проявителя. Во всех сериях опытов, кроме первой, проявляющий раствор имел значение pH=6.2.

Результаты исследования представлены на рис. 1—7 и обсуждаются ниже.

1. Влияние pH ( $C_{Na_2SO_3} = 0.018$  М).

Как видно из рис. 1, при уменьшении pH проявляющего раствора плотность следов заряженных частиц в случае II падает значительно меньше, чем в случае амидола, причем в эмульсионных слоях, проявленных в растворах с II, достигается большая однородность проявления по глубине слоя, что, очевидно, связано с большей активностью II при низких pH (рис. 2).

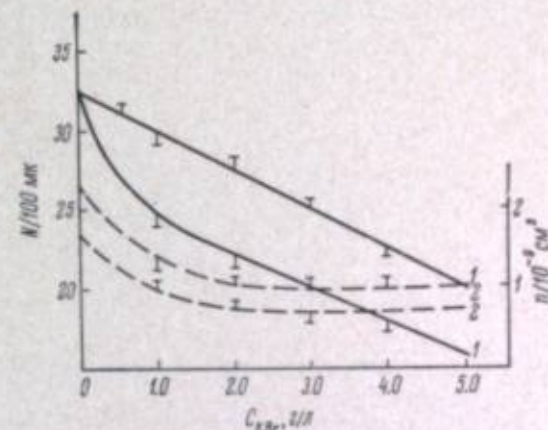


Рис. 4. Кривые изменения  $N$  и  $n$  в зависимости от  $C_{KBr}$ .

Обозначения те же, что на рис. 1.

2. Влияние концентрации проявляющего вещества ( $C_{Na_2SO_3}$ ) (рис. 3).

Кривые  $N = f(C_{Na_2SO_3})$  совпадают для II и амидола при всех исследованных концентрациях, причем оптимальная величина плотности следов достигается при  $C_{Na_2SO_3} = 3 \div 3.5$  г/л. При дальнейшем увеличении  $C_{Na_2SO_3}$  плотность следов заряженных частиц сохраняется практически постоянной. Кривые  $n = f(C_{Na_2SO_3})$  для амидола лежат выше, чем для II.

3. Влияние концентрации бромистого калия ( $C_{KBr}$ ) (рис. 4).

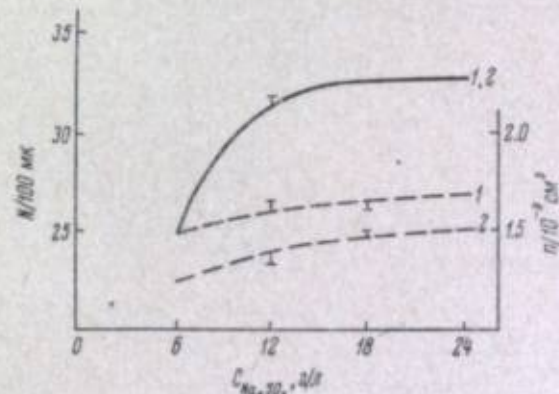


Рис. 5. Кривые изменения  $N$  и  $n$  в зависимости от  $C_{Na_2SO_3}$ .

Обозначения те же, что на рис. 1.

При увеличении количества бромистого калия от 0,2 до 5 г/л при проявлении с II величина плотности следов заряженных частиц понижается пропорционально увеличению  $C_{KBr}$ , в то время как с амидолом уже при увеличении  $C_{KBr}$  до 1 г/л наблюдается резкое понижение  $N$ . Кривая  $n = f(C_{KBr})$  для II лежит ниже, чем для амидола.

4. Влияние концентрации сульфита ( $C_{Na_2SO_3}$ ) (рис. 5).

Кривые изменения  $N = f(C_{Na_2SO_3})$  для II и амидола совпадают. Кривые  $n = f(C_{Na_2SO_3})$  для II лежат ниже, чем для амидола. Оптимальные значения  $N$  достигаются при  $C_{Na_2SO_3} = 10 \div 12$  г/л. При дальнейшем



увеличении  $C_{Na_2SO_4}$ ,  $N$  практически не изменяется, а  $n$  возрастает до  $C_{Na_2SO_4} = 18 \div 20$  г/л.

5. Влияние условий фотографической обработки (рис. 6).

Как показали опыты, изменение условий фотографической обработки ядерных эмульсий, в частности времени «холодной» и «теплой» стадий

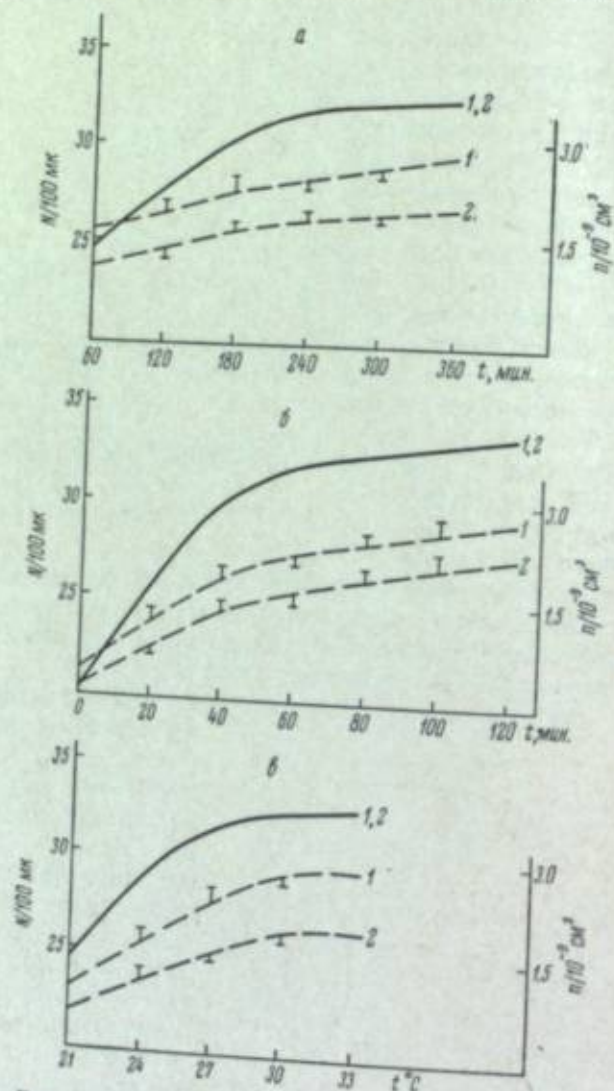


Рис. 6. Кривые изменения  $N$  и  $n$  в зависимости от условий обработки.

а — от продолжительности «холодной» стадии проявления, б — от продолжительности «теплой» стадии проявления, в — от температуры «теплой» стадии проявления. Остальные обозначения те же, что на рис. 1.

проявления, а также температуры теплой стадии, оказывает аналогичное влияние на величину  $N$  при проявлении как II, так и амидолом, причем  $n$  в случае II во всех опытах ниже.

Проявляющий раствор с II удовлетворяет большинству условий, сформулированных в работе Дилворс, Оккиалини и Вермезен [13] и предъявляемых к проявителю, пригодному для проявления ядерных фотоматериалов (низкая щелочность, малая концентрация, простота состава, несильное растворяющее действие на микрокристаллы и т. д.).

## Выводы

1. Исследованы в качестве проявляющих веществ для ядерной фотографии ряд 3-алкил-4-аминопиразолонов-(5). Показано, что некоторые 1-арил-3-метил-4-аминопиразолоны-(5) и 1-N-фенил-этил-3-метил-4-аминопиразолоны-(5) по фотографическим свойствам превосходят обычно применяемый для проявления ядерных эмульсий амидол и не уступают последнему по сохраняемости в проявляющих растворах (рис. 7).

2. Подробно исследованы проявители с хлоргидратом 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолоном-(5). Изучено влияние различных факторов (рН раствора, состава проявителя, условий обработки) на процесс проявления ядерных эмульсий в указанных проявителях.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] I. G. Farbenind. AG, франц. патент 807002; англ. патент 459665.
- [2] AGFA AG (W. Peliz, O. Wahl), патент ФРГ 1047618; англ. патент 833113.
- [3] AGFA AG (W. Peltz, O. Wahl, K. Burgardt), патент ФРГ 1029277.
- [4] AGFA AG (H. Sassman), патент ФРГ 1079455.
- [5] K. Burgardt, W. Peltz, Mitt. Forschunslab. AGFA Leverkusen, 2, 165, 1958.
- [6] H. Sassman, Mitt. Forschunslab. AGFA Leverkusen, 2, 176, 1958.
- [7] М. С. Хайкин, Г. В. Дерстуганов, И. И. Левкоев, В. А. Кухтин, Д. Б. Шамильская, Тр. НИКФИ, вып. 37, 17, 1960.
- [8] H. Frieser, G. Heimann, H. Eger, Korpuskularphotographie IV, München, 1963, 339.
- [9] К. С. Богомолов, А. А. Сиротинская, М. Ю. Дебердеев, В. М. Уварова, Тр. НИКФИ, вып. 11 (21), 73, 1957.
- [10] К. В. Старини, Э. А. Груз, Тр. НИКФИ, вып. 11 (21), 102, 1957.
- [11] В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова, В. А. Мыльцева, К. М. Романовская, Photographie Corpusculaire II, ed. Montreal Univ., 1959.
- [12] М. Ю. Дебердеев, Т. И. Крестовникова, К. М. Романовская, В. М. Уварова, В кн. «Ядерная фотография», Изд. АН СССР, 1962, 199.
- [13] С. Дилворс, Г. Оккиалини, Л. Вермезен, Сб. «Фотография»-регистрация иониз. излучений, ИЛ, М., 1953, 114.

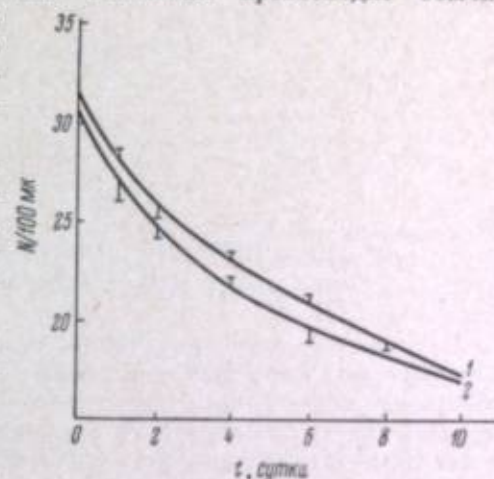


Рис. 7. Кривые изменения  $N$  в зависимости от продолжительности хранения проявляющего раствора.

Обозначения те же, что на рис. 1.



А. Б. АКОПОВА

### УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ СЛОЕВ ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ ТОЛЩИНОЙ 600 МК

В последние годы различные авторы исследовали влияние ультразвуковых (далее всюду сокращенно УЗ) колебаний на фотографическую обработку тонкослойных светочувствительных фотоматериалов. Результаты этих работ показали, что воздействие упругих колебаний УЗ диапазона частот интенсифицирует указанные процессы в значительной степени.

Большой интерес представляло поэтому выяснение принципиальной возможности применения УЗ колебаний для обработки толстых слоев высококонцентрированных ядерных фотоэмульсий, когда кинетика в отличие от обработки тонких слоев определяется прежде всего диффузионными процессами. В этой связи было предпринято экспериментальное исследование обработки слоев эмульсии типа НИКФИ-Р толщиной 400 мк с применением УЗ колебаний.

Успешные результаты этой работы [1, 2], доложенные на совещании по фотометоду в Дубне (декабрь 1963 г.), дали основание перейти к разработке режима проявления и для более толстых слоев. Полученные данные для слоев толщиной 600 мк составляют предмет данного сообщения.

Поскольку подробное изложение методики эксперимента и описание используемой аппаратуры было дано в предыдущих работах [1, 2], в этом сообщении мы не будем касаться методических вопросов. Работа проводилась на трех партиях бесподложечных слоев эмульсии НИКФИ-Р толщиной 600 мк с различным сроком хранения, от 2—4 до 6—9 недель от момента изготовления. Различный возраст слоев в разных опытах часто осложнял работу, и некоторые испытания для получения сравнимых результатов приходилось повторять. Слои были облучены в ИТЭФ и в ОИЯИ пучками л-мезонов и протонов с энергиями 4.0 и 4.8 Бэв соответственно.

В опытах подбирались оптимальные времена для получения качественно обработанных слоев с сохранением всех их физических свойств. В отличие от опытов на 400-микронных слоях, где преимущественно использовалась УЗ частота 1200 кгц, в данных опытах использовался диапазон частот от 500 до 3000 кгц при интенсивности пучка 0.2—0.6 вт/см<sup>2</sup>. Интенсивность измерялась вблизи поверхности титанатобариевого излучателя с помощью прибора ИУМ-2.

В результате многочисленных опытов установлены оптимальные времена для всех стадий обработки, обеспечивающие нужные характеристики проявленных слоев. Эти времена приведены в табл. 1, из которой видно, что УЗ колебания резко ускоряют все процессы по сравнению

с обычной обработкой; исключение составляет теплая стадия проявления. По-видимому, наблюдаемое ускорение вызвано в основном ускорением диффузии по всему объему эмульсионного слоя и частично разрушением пограничного слоя под действием УЗ колебаний. Что касается собственно проявления, то оно, как и в случае 400-микронных слоев, не изменяется.

Таблица 1  
Методика обработки исследуемых слоев

Операция	Температура, °С	Время обработки с воздействием УЗ, мин.
Охлаждение эмульсии . . . . .	2—3	5
Пропитка в дистиллированной воде	3—5	35
Пропитка в амидоловом проявителе . . . . .	3—5	35
Стадия теплового проявления . . . . .	24	40
Ополаскивание в дистиллированной воде . . . . .	5	1
Стоп-ванна . . . . .	5	30
Ополаскивание в дистиллированной воде . . . . .	5	30
Фиксирование в 30-процентном тиосульфате натрия . . . . .	4—5	360
1 — дробление 1/3 воды . . . . .	5—7	60
2 — » 1/2 воды . . . . .	5—7	60
3 — » 2/3 воды . . . . .	5—7	60
Промывка водой . . . . .	7	300
Ванна 25% спирта + 3% глицерина . . . . .	7—10	30
Ванна 50% спирта + 5% глицерина . . . . .	7—10	30
Ванна 75% спирта + 3% глицерина . . . . .	7—10	30

Это объясняется гораздо большей ролью химического процесса проявления на данной стадии по сравнению с диффузией проявителя в слой. Вероятно, ускорению этого процесса может содействовать так называемая кавитация [3], которая в наших опытах не возникала вследствие малых значений интенсивности пучка.

Для обработки были испробованы следующие два проявителя (с различной концентрацией амидола).

I — Амидол 3 г	II — Амидол 5,5 г
Сульфит — 12 г	Сульфит — 18 г
Лимонная кислота — 1 г	10-процентный раствор лимонной кислоты — 8 мл
Вода — до 1 л	Вода — до 1 л
pH = 6.6	pH = 6.6

Как показали исследования, чувствительность в обоих проявителях достигается примерно одна и та же. За меру чувствительности принималось число сгустков на 100 мк следа релятивистской частицы, а зерновой фон вуали выражался числом зерен на объем  $10^{-9}$  см<sup>3</sup>; далее они обозначаются  $N$  и  $n$  соответственно. Для получения правильной картины распределения зерен по всей толщине слоя измерения  $N$  и  $n$  проводились на шести различных участках проявленного слоя.

Кривые на рис. 1 и 2 показывают ход значений  $N$  и  $n$  по толщине проявленного слоя. Как можно видеть, слои, обработанные с приме-



нием УЗ, обладают достаточной равномерностью чувствительности и вуали по толщине и небольшой по абсолютной величине вуалью как в глубине, так и на поверхности слоя. Малая вуаль весьма существенно сказывается на прозрачности слоя, которая в свою очередь заметно влияет на микроскопический просмотр слоев. Возможно, улучшение прозрачности достигается как благодаря значительному уменьшению времени пропитки слоя проявителем, так и благодаря быстрому прекращению проявления в стопе при воздействии УЗ.

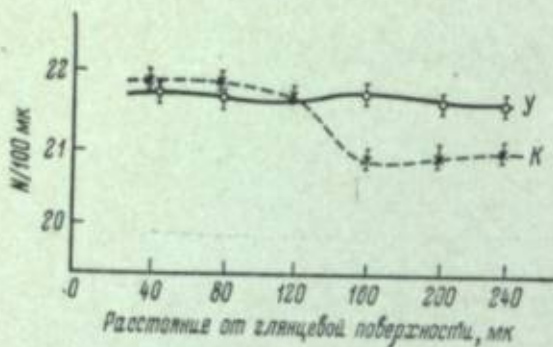


Рис. 1. Плотность сгустков на следах релятивистских частиц на различных глубинах в слое. К — контроль, У — обработка с воздействием УЗ.

на 10—12% меньше, чем в контрольных слоях.

Необходимо особо отметить роль УЗ при фиксировании, скорость которого в основном определяется скоростью диффузии. Фиксирование является единственным процессом, где эффект УЗ колебаний можно наблюдать визуально еще до завершения полной обработки. В двух одинаковых слоях, обрабатываемых с воздействием УЗ и без него, при прочих равных условиях было замечено, что к моменту полного просветления первого слоя сколько-нибудь заметное просветление второго еще даже не начиналось.

Известно, что при обычной обработке процесс фиксирования отнюдь не заканчивается, когда слой становится прозрачным, так как в нем остается трудно растворимое соединение  $\text{Na}[\text{AgS}_2\text{O}_3]$ . В случае же воздействия УЗ, видимо вследствие постоянного притока избытка тиосульфата натрия, переход указанного соединения в легко растворимый комплекс заканчивается почти одновременно с просветлением слоя. Тем не менее мы считали нужным выдерживать слой в свежей фиксажной ванне еще 1 час после просветления, что гарантирует абсолютную их чистоту. Указанное обстоятельство также сводит к минимуму время последующей промывки, осуществляемой в наших опытах непрерывной циркуляцией воды. Тем самым создается большой градиент концентрации отмываемого вещества и резко ускоряется его удаление из слоя.

Учитывая возможность поглощения эмульсионным слоем энергии УЗ колебаний, можно было ожидать возникновения локального нагрева в слое. В связи с этим проведены измерения температуры слоя, для чего

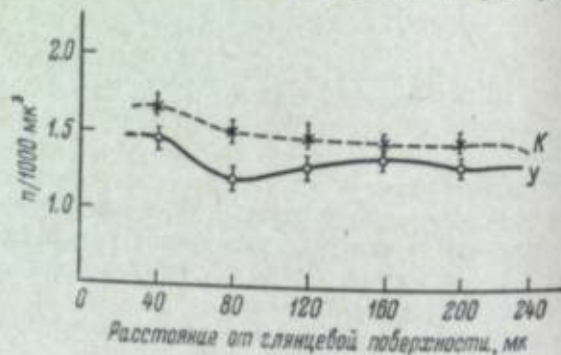


Рис. 2. Плотность вуали на различных глубинах в слое.

К — контроль, У — обработка с воздействием УЗ.

в него вводилась медь-константановая термопара диаметром 0.2 мм. Оказалось, что при использованных нами параметрах УЗ поля в течение первых 30 мин. температура повышалась на 1—2°С, а затем оставалась постоянной. Поэтому мало вероятно, что незначительный местный нагрев может существенно сказываться на конечных результатах обработки. Эксперимент показал, что изменение скорости за счет нагрева достигается лишь при существенном увеличении интенсивности УЗ пучка. Полученные данные хорошо согласуются с результатами работы В. М. Фридмана [4] по исследованию константы скорости диффузии гипосульфита через желатиновую пленку. Отметим, что хотя для такого ускорения процесса интенсивность имеет решающее значение, нельзя ее неограниченно увеличивать, так как возникнет тепловой нагрев поверхности излучателя и нарушится весь режим. Однако такого осложнения легко избежать при некотором усовершенствовании используемой аппаратуры.

В настоящее время мы продолжаем исследования обработки слоев эмульсии НИКФИ-БР2, отличающихся повышенной чувствительностью — до 40—42 сгустков на 100 мк релятивистского следа.

Таблица 2

Средние диаметры проявленных зерен при обработке УЗ

Метод обработки	Диаметр зерен обычной вуали, мк	Диаметр зерен мелкозернистой вуали, мк
Обычный (контроль)	0.55—0.57	0.15—0.20
Обработка с применением УЗ	0.45—0.47	—

Примечание. Мелкозернистая вуаль наблюдается только в старых слоях (6—9 недель от момента изготовления).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Б. Акопова, Х. Б. Пачаджян, Л. В. Мелкумова, Приб. и техн. эксперим., № 2, 66, 1964.
- [2] А. Б. Акопова, Приб. и техн. эксперим., № 2, 64, 1964.
- [3] А. Э. Кроуфорд. Ультразвуковая техника. ИЛ, М., 1958.
- [4] В. М. Фридман. Звуковые и ультразвуковые колебания и их применение в промышленности. Гизлегпром, М., 1957.



А. Б. АКОПОВА, Л. В. МЕЛКУМЯН,  
Х. Б. ПАЧАДЖЯН, А. Г. САЛЬМАН

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Целью настоящей работы являлось определение топографии ультразвукового (далее всюду сокращенно УЗ) поля, создаваемого титанатобариевым вибратором при проявлении толстых слоев ядерных эмульсий. Измерение УЗ энергии в различных точках среды, в которой происходит обработка эмульсионных слоев при воздействии УЗ колебаний, весьма существенно для количественной и качественной оценки результатов этой обработки.

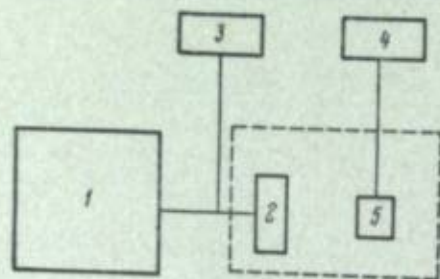


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — генератор, 2 — излучатель, 3 — осциллограф ИО-4, 4 — осциллограф СИ-1, 5 — пьезопластинка.

Для осуществления поставленной задачи применялись два метода, обладающие наибольшей точностью — пьезоэлектрический и радиометрический. В обоих случаях интенсивность УЗ колебаний определялась в относительных величинах, связанных с системой отсчета, свойственной выбранному методу измерений.

Измерения проводились в кювете из плексигласа размером  $500 \times 200 \times 200$  мм с водой, в которой излучатель устанавливался вертикально. Приемник УЗ колебаний закреплен в специальном устройстве, позволявшем плавно перемещать и определять его положение с точностью отсчета до 0,1 мм в трехмерной системе координат, одна из координатных плоскостей которой параллельна плоскости излучателя. Величина напряжения, подававшегося на обкладку УЗ излучателя, фиксировалась осциллографом ИО-4 и поддерживалась постоянной.

При первом методе измерения в качестве приемника использовался пьезодатчик из титаната бария с  $d=1$  мм; его напряжение было пропорционально интенсивности УЗ колебаний в данной точке пространства, и для его определения применялся осциллограф типа СИ-1 (рис. 1). Эксперимент проводился в условиях, исключавших влияние внешних факторов на точность измерения датчиком; однако, учитывая возможную неточность самого датчика, при построении кривых брались усредненные значения результатов пятикратных повторных измерений.

Наибольший интерес представляли измерения интенсивности УЗ колебаний в направлении, перпендикулярном плоскости излучателя, имевшие целью выяснить степень поглощения УЗ колебаний в рабочей среде

по мере увеличения расстояния между излучателем и приемником, а также определение оптимальной зоны для размещения обрабатываемого слоя.

Кривые на рис. 2 представляют измерения интенсивности поля вдоль диаметра излучателя на различных расстояниях от него в направлении излучения. Сравнение кривых показывает в общем одинаковую их форму и одинаковую абсолютную величину интенсивности, что указывает на незначительность затухания УЗ энергии по направлению излучения. Тем самым показано, что для практики использования УЗ при обработке эмульсионных слоев выбор расстояния от излучателя до слоя не имеет существенного значения.

На следующем этапе эксперимента, также имевшем большое практическое значение, производилось измерение параметров поля за эмульсионным слоем толщиной 600 мк, помещаемым в пространстве между излучателем и приемником. Одинаковый ход полученных кривых (рис. 3) показывает, что поглощения УЗ энергии в ядерной эмульсии практически не наблюдается, и подтверждает ранее сделанный вывод [1] о том, что не следует ожидать возникновения местного нагрева эмульсии в этих условиях.

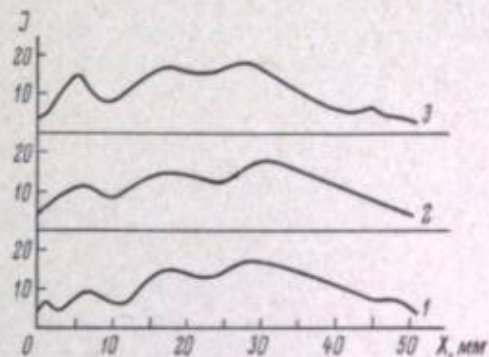


Рис. 2. Измерение интенсивности поля УЗ колебаний вдоль диаметра излучателя на разных расстояниях от него.  
1 — 2 см, 2 — 10 см, 3 — 20 см.

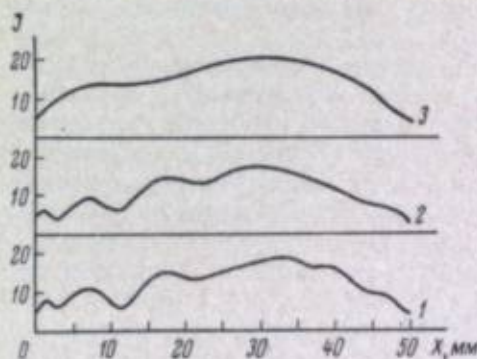


Рис. 3. Измерение интенсивности поля УЗ колебаний на расстоянии 10 см от излучателя.

1 — без эмульсионного слоя, 2 — за эмульсионным слоем толщиной 600 мк в стали пропитанной водой, 3 — за отфиксированным эмульсионным слоем.

Подобные опыты были затем распространены на случай прохождения УЗ через несколько слоев ядерной эмульсии. Воздействию УЗ колебаний подвергался пакет из трех слоев эмульсии по 400 мк каждый. Данные соответствующих измерений, приведенные на рис. 4, показывают, что и в этом случае отсутствует сколько-нибудь существенное затухание УЗ поля.

Дальнейшее увеличение толщины многослойного пакета не было осуществлено из-за отсутствия нужного количества эмульсии в момент проведения опытов. Однако даже полученные результаты позволяют говорить о практической возможности одновременного проявления большого числа эмульсионных слоев, что без применения УЗ колебаний недостижимо. Это предположение будет окончательно проверено на подготовляемых в настоящее время экспериментах, в ходе которых будет также проверена однородность фотографических и физических параметров всех слоев пакета после проявления.

Следует отметить, что снижение интенсивности от центра к краям излучателя на всех приведенных кривых вызвано особенностями крепления излучателя и не имеет принципиального характера; однако оно могло послужить причиной возникновения неравномерности проявления по площади слоя. Детальное измерение чувствительности (плотности сгу-



стков зерен) на различных участках поверхности показало, что полученный разброс в общем не превышает существующего при обычном процессе проявления.

Тем не менее были приняты меры, позволяющие нивелировать указанную неравномерность УЗ поля. С этой целью между излучателем и эмульсией помещались различные диффузно-рассеивающие вещества; к сожалению, они пока не дали желаемого выравнивания поля, и работа в этом направлении продолжается.

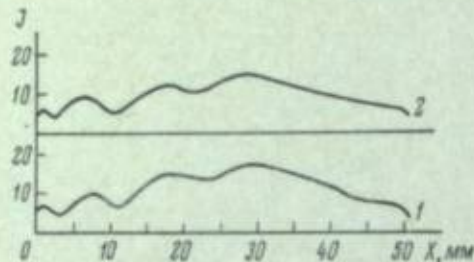


Рис. 4. Измерение интенсивности поля УЗ колебаний на расстоянии 10 см от излучателя за тремя эмульсионными слоями по 400 мк каждый.

1 — без эмульсионных слоев, 2 — за эмульсионными слоями.

к УЗ частоте 1000 кгц, а поэтому соображения, приведенные в данной работе, справедливы именно для указанных параметров УЗ поля. В настоящее время начаты измерения для широкого диапазона частот, применяемых нами при обработке эмульсий.

Основным выводом из проведенной, хотя и предварительной работы является вывод о том, что в дополнение к ранее изложенным [2, 3] преимуществам применения УЗ при обработке ядерных эмульсий применение УЗ дает еще и выигрыш в производительности обработки благодаря возможности одновременного воздействия УЗ на несколько эмульсионных слоев; последнее особенно существенно при обработке больших эмульсионных камер.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] А. Б. Акопова, настоящий сборник, 106.
- [2] А. Б. Акопова, Х. Б. Пачаджян, Л. В. Мелкумова, Приб. и техн. экспер., № 2, 66, 1964.
- [3] А. Б. Акопова, Приб. и техн. экспер., № 2, 64, 1964.

Все перечисленные исследования УЗ поля дублировались измерениями радиометрическим методом, обладающим чувствительностью одного порядка с приемником пьезодатчика. Несмотря на то что в данном случае измерения получались более усредненными (вследствие значительных размеров лепестка радиометра), они оказались весьма полезными в том отношении, что показали полное совпадение результатов при обоих методах измерения.

Следует оговорить, что все сделанные нами измерения относятся

## Я. М. ВЕПРИК, Н. И. ГРИГОРЬЕВ СПОСОБ ФИКСИРОВАНИЯ И ПРОМЫВКИ БЕСПОДЛОЖЕЧНЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ СЛОЕВ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обработка эмульсионных слоев для ядерных исследований может быть проведена методом физического проявления с предварительным фиксированием [1, 2].

В процессе длительного фиксирования наблюдается окисление центров скрытого изображения кислородом, содержащимся в фиксирующем растворе, что особенно сказывается в кислых фиксажах [3]. Уменьшить окисление центров скрытого изображения можно либо защитив их предварительно перед стадией фиксирования путем обработки экспонированного эмульсионного слоя комплексными солями золота или платины, либо ускорив сам процесс фиксирования.

Как правило, фиксирование бесподложечных эмульсионных слоев проводится в металлических кюветах, на дно которых помещают несколько листов фильтровальной бумаги. Иногда слой помещают на сетчатую ткань, расположенную на некотором расстоянии от дна кюветы. При таких условиях фиксирования необходимо периодически переворачивать слой и менять фиксирующий раствор.

Здесь мы остановимся на способе ускоренного фиксирования эмульсионных слоев.

Фиксирование эмульсионных слоев по предложенному способу происходит на жесткой пористой основе. Нахождение эмульсионного слоя на жесткой пористой основе позволяет отказаться от переворачивания слоев и периодической смены отработанного объема фиксирующего раствора и сократить время фиксирования.

Опыты по фиксированию 400-микронных бесподложечных эмульсионных слоев Р-НИКФИ проводились нами в приборе, схема которого приведена на рис. 1. В качестве основной ячейки прибора для фиксирования была использована воронка Шотта с фильтром № 3.

Эмульсионный слой (1) помещался на пористую стеклянную пластинку (2) воронки. Над эмульсионным слоем помещалась такая же пористая стеклянная пластинка, которая препятствовала всплыванию слоя в процессе фиксирования. После размачивания слоя дистиллированной

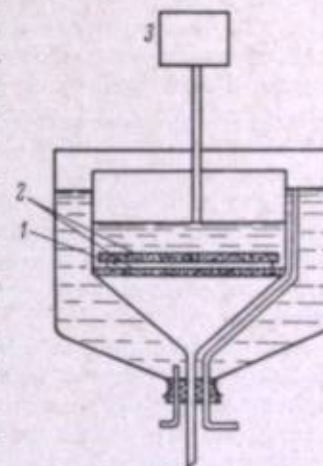


Рис. 1. Прибор для фиксирования и промывки эмульсионных слоев.

1 — эмульсионный слой; 2 — пористые стеклянные пластинки; 3 — регулятор уровня.



водой в прибор поступал непрерывным током фиксирующий раствор. Уровень фиксирующего раствора в приборе поддерживался постоянным с помощью регулятора уровня (3). Необходимая температура достигалась водяным охлаждением.

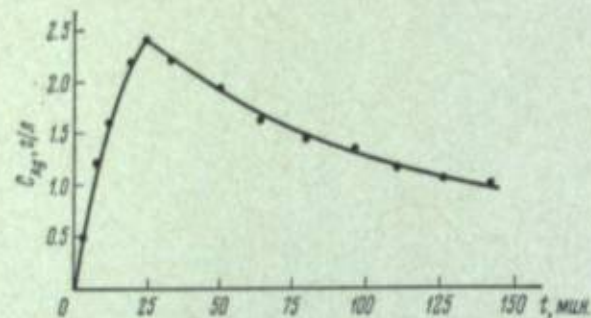


Рис. 2. Зависимость концентрации серебра в отработанном фиксаже от времени фиксирования.  
 $C_{Ag}$  г/л — концентрация серебра в граммах на литр;  
 $t$  — время в минутах.

Было проведено сравнение времен просветления 400-микронных бесподложечных эмульсионных слоев Р-НИКФИ в 40-процентном растворе тиосульфата натрия в описанном приборе и в кювете. Результаты опытов приведены в таблице. Как видно из таблицы, время\* просветления 400-микронных эмульсионных слоев в приборе на 60 мин., т. е. на 30%, меньше времени просветления в кювете. Сокращение времени фиксирования в приборе по отношению к времени фиксирования в кювете объясняется ускорением процесса диффузии как молекул тиосульфата натрия в эмульсионный слой, так и образовавшихся в процессе фиксирования комплексных соединений серебра из слоя. Так как скорость процесса фиксирования определяется диффузионной кинетикой, а не химической [4], то любое ускорение диффузии неизбежно должно сказаться на ускорении процесса фиксирования в целом.

Ускорение процессов диффузии происходит за счет нахождения эмульсионного слоя на пористой основе и непрерывного поступления фиксирующего раствора в прибор.

Была исследована также кинетика фиксирования эмульсионных слоев. Полученные данные о зависимости концентрации серебра в отработанном фиксаже от времени фиксирования приведены на рис. 2.

Полученные данные позволили спроектировать установку для фиксирования и промывки 250 эмульсионных слоев размером  $10 \times 10$  см<sup>2</sup>. Данная установка позволяет непосредственно перейти от процесса фиксирования к промывке путем постепенного уменьшения концентрации фиксирующего раствора с доведением ее до нуля. Она позволяет ускорить и автоматизировать процесс фиксирования и промывки эмульсионных слоев.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Schmitt, M. Debeaumont-Wack, P. Cüer, Sci. et inds photogr., 28, 30, 1957.
- [2] Я. М. Веприк, С. П. Процанова, Г. П. Фаерман, Приб. и техн. экспер., № 3, 128, 1959.
- [3] Д. М. Самойлович, Е. С. Барникова, Приб. и техн. экспер., № 3, 46, 1956.
- [4] И. Б. Блюмберг, Ж. научн и прикл. фотогр. и кинематогр., 5, 90, 1960.

Номер опыта	Время на просветление, мин.		
	в кювете	в приборе	разность
1	180	130	50
2	200	145	55
3	190	125	65
4	180	120	60
5	180	115	65
6	185	120	65
7	180	125	55
8	180	120	60
9	185	120	65
10	185	120	60
Среднее	180	120	60

М. И. ТРУХИН

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ЭМУЛЬСИОННЫХ СЛОЕВ НИКФИ ТИПОВ БР-2-600 И БР-2-800

Разработанная методика обработки слоев НИКФИ типов БР-2-600 и БР-2-800 обеспечивает равномерное проявление слоя. Метод обработки основан на применении забуференных в отношении ионов  $H^+$  амидоловых проявляющих растворов [1], исключающих уменьшение скорости восстановления микрокристаллов бромистого серебра в слое ядерной эмульсии вследствие понижения рН в слое. Использована буферная смесь, состоящая из лимонной кислоты и двухзамещенного фосфата натрия, при рН равном 6.2 и 6.5. Контроль рН при приготовлении обрабатываемых растворов осуществлялся обычным способом, т. е. путем измерения потенциала стеклянного электрода относительно насыщенного каломельного электрода (рис. 1). Буферные емкости приготовленных растворов не определялись, однако результаты титрования растворов показывают, что буферные емкости достаточно велики [2].

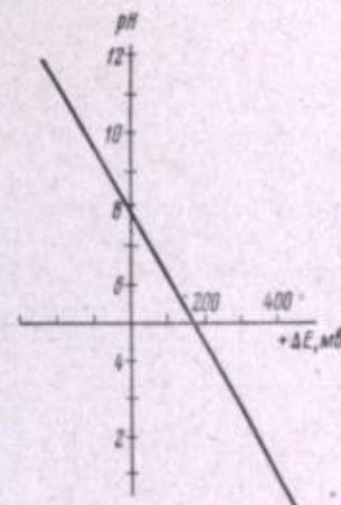


Рис. 1. Градуировка стеклянного электрода для измерения рН.

#### Результаты обработки

Методика обработки проверена на нескольких партиях слоев НИКФИ типов БР-2-600 и БР-2-800. На рис. 2 представлены результаты обработки. Для сравнения приведены данные других лабораторий по обработке эмульсий того же синтеза, но имеющих после изготовления толщину 400 мк. На рис. 2 обозначено 1 — БР-2-400 мк, эмульсия 4591, обработка сразу после облучения электронами, 2 — БР-2-400 мк, эмульсия 4591, обработка в лаборатории высоких энергий ОИЯИ сразу после облучения  $\pi$ -мезонами с импульсом 1.3 Бэв/с, 3 — БР-2-400 мк, эмульсия 4591, обработка по методике лаборатории высоких энергий ЛФТИ через 6 дней после облучения  $\pi$ -мезонами с импульсом 1.3 Бэв/с, 4 — БР-600 мк, фабричная низкокочувствительная эмульсия, обработка по методике ЛВЭ ЛФТИ, 5 — БР-2-600 мк, обработка по методике ЛВЭ ЛФТИ через 6 дней после облучения  $\pi$ -мезонами с импульсом 580 Мэв/с, 6 — БР-2-800 мк, эмульсия 4592, обработка по методике ЛВЭ ЛФТИ через 6 дней после облучения  $\pi$ -мезонами с импульсом 1.3 Бэв/с.



В. М. УВАРОВА, Т. Н. КРЕСТОВНИКОВА

К ВОПРОСУ ОБ УСЛОВИЯХ  
ПРОВЕДЕНИЯ СТАДИИ СТОП-ВАННЫ  
В ПРОЦЕССЕ ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ТОЛСТОСЛОЙНЫХ ФОТОМАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе фотографической обработки толстослойных фотоматериалов для ядерных исследований важную роль играет стоп-ванна. Первоочередная задача стоп-ванны состоит в том, чтобы остановить процесс проявления, что достигается снижением рН эмульсионного слоя и температуры. Вторая ее задача, не менее важная, чем первая — обмен в эмульсионном слое молекул проявляющего вещества на молекулы уксусной кислоты, что предупреждает возможность протекания процесса физического проявления в фиксирующем растворе, приводящего к образованию дихронической вуали.

Литературные данные об оптимальных условиях проведения стоп-ванны довольно противоречивы.

В качестве останавливающего раствора для ядерных эмульсий используются водные растворы уксусной и лимонной кислот, метабисульфата калия и бромистого калия. Варьируется концентрация указанных веществ, а следовательно, и рН растворов. Нет единого мнения в отношении продолжительности и температуры этой стадии: встречаются продолжительности от 0 до 4 часов и температуры от 2 до 10°С [4—15].

Такая противоречивость мнений о наилучших условиях проведения стоп-ванны побудила нас поставить исследование влияния различных факторов (природы кислоты, величины рН, продолжительности и температуры стоп-ванны) на характеристики фотографических свойств и степень набухания эмульсионных слоев, а также на деформацию следов заряженных частиц в окончательно обработанных эмульсионных слоях.

Методика эксперимента

Исследование проводилось на эмульсионных слоях типа БР-1 толщиной 400 мк, задубленных до  $T_{ст} = 75^\circ\text{C}$  [16]. Слои облучались электронами с энергией 12—14 Мэв на бетатроне с выведенным пучком [17]. Предварительное наклеивание эмульсионных слоев на стекло осуществлялось по методике, описанной в работе [18], а фотографическая обработка — по «мокрой» методике [19]. Фотографическая чувствительность характеризовалась числом зерен ( $N$ ) на 100 мк пробега релятивистского электрона. Степень набухания эмульсионных слоев определялась по описанной нами ранее методике [20] и характеризовалась количеством жидкости, погло-

щенной одним граммом воздушно-сухой эмульсии; если  $p$  есть вес набухшего слоя, а  $p_0$  — первоначальный его вес в воздушно-сухом состоянии, то степень набухания можно представить как  $\frac{p-p_0}{p_0}$ . Определялась

также величина рН набухшего эмульсионного слоя, для чего набухший слой расплавлялся в том количестве жидкости, которое он впитал при набухании, и измерялось (потенциометрически) значение рН расплава слоя. При определении коэффициентов деформации следов заряженных частиц использовался метод Меджора [21].

В качестве стоп-ванны исследовались растворы следующих кислот: уксусной, лимонной, винной, аскорбиновой, серной и азотной. Величина рН исследуемых растворов определялась потенциометрически, а кислотность — путем титрования едким натром с фенолфталеином в качестве индикатора. Кислотность выражалась в миллилитрах децинормального раствора NaOH, пошедшего на титрование 10 мл пробы исследуемого раствора [22, 23].

Для фиксирования эмульсионных слоев применялся фиксаж следующего состава: тиосульфат натрия (кристаллический) — 300 г, метабисульфит калия — 1 г, воды — до 1 л (рН=5.8).

I. Исследование степени набухания эмульсионных слоев  
в стадии стоп-ванны в зависимости от величины рН  
и природы кислоты

В табл. 1, наряду с другими, содержатся данные об изменении величины рН и кислотности водных растворов исследуемых кислот в зависимости от их концентрации в растворе. Эти данные показывают, что растворы различных кислот, имеющие одинаковые значения рН, сильно различаются между собой по кислотности вследствие различной степени их диссоциации в растворе. Вероятно, именно этим и объясняется тот факт, что в растворах уксусной кислоты эмульсионные слои набухают в наибольшей мере. Можно привести следующие данные: при набухании в растворах разных кислот при равных значениях рН, например 4.8, эмульсионные слои поглощают  $3 \cdot 10^{-4}$  г-молекул уксусной кислоты,  $1 \cdot 10^{-4}$  г-молекул лимонной кислоты и всего  $6 \cdot 10^{-5}$  г-молекул азотной кислоты. Подобные соотношения имеют место и при других значениях рН.

II. Влияние природы кислоты и рН раствора стоп-ванны  
на фотографические свойства  
бесподложечных эмульсионных слоев типа БР-1

а. Влияние на величину плотности следов

На рис. 1 приведены кривые зависимости плотности следов частиц, расположенных в околоповерхностной зоне эмульсионного слоя (глубиной 25 мк), от природы кислоты и рН раствора стоп-ванны. Согласно этим кривым наилучшие показатели  $N/100$  мк достигаются при использовании в качестве стоп-ванны растворов уксусной кислоты со значениями рН=2.5—3.5, обладающих высокой кислотностью и дающих наибольшее содержание молекул кислоты в эмульсионном слое (ср. табл. 1). Что касается продолжительности стоп-ванны, то лучшие значения  $N/100$  мк достигаются при 120 мин. Это объясняется, вероятно, тем, что во время стоп-ванны продолжается процесс проявления и проявляются те микрокристаллы, которые имели малые центры скрытого изображения и поэтому за время теплой стадии еще не успели проявиться. Выбор продолжительности стоп-ванны 120 мин. удачен также тем, что способствует уменьше-



Таблица 1

## Изменение величины pH набухшего слоя и степени его набухания в зависимости от природы кислоты и pH раствора стоп-ванны

Постоянные условия опыта: 1) продолжительность стоп-ванны 120 мин.  
2) величина pH эмульсионных слоев, поступающих в стоп-ванну после «мокрого» проявления, всегда равна 5.3

Название кислоты	Концентрация водного раствора кислоты, %	Количество водного раствора в 1 л раствора стоп-ванны, мл	pH раствора стоп-ванни	Кислотность раствора стоп-ванны, мл	pH набухшего эмульсионного слоя	Степень набухания эмульсионного слоя, %	Количество раствора, впитанного слоем размером $2,5 \times 2,5$ см <sup>2</sup> , мл	Количество грамм-молекул кислоты, поглощенных слоем
Уксусная	50.0	60.0	2.5	52.4	4.0	99.1	2.4	$12 \cdot 10^{-4}$
		20.0	2.9	17.5	4.1	74.6	2.0	$9 \cdot 10^{-4}$
		5.0	3.5	4.3	4.5	55.0	1.4	$6 \cdot 10^{-4}$
		0.2	4.0	0.1	4.8	47.2	1.2	$3 \cdot 10^{-4}$
		0.1	5.0	1 капля	5.3	46.0	1.2	$3 \cdot 10^{-4}$
Лимонная	2.0	175.0	2.5	5.3	4.5	71.6	2.0	$2 \cdot 10^{-4}$
		80.0	2.9	3.0	4.7	52.4	1.3	$1 \cdot 10^{-4}$
		15.0	3.5	0.5	5.0	43.5	1.1	$9 \cdot 10^{-5}$
		5.0	4.0	0.2	5.3	44.0	1.0	$5 \cdot 10^{-5}$
		0.3	5.0	1 капля	5.5	46.0	1.0	$5 \cdot 10^{-5}$
Винная	2.0	60.0	2.5	1.6	—	60.0	1.5	$1 \cdot 10^{-5}$
		30.0	2.9	0.8	—	47.0	1.1	$5 \cdot 10^{-6}$
		5.0	3.5	0.3	—	44.5	1.0	$3 \cdot 10^{-6}$
		1.5	4.0	0.1	—	43.0	1.0	$2 \cdot 10^{-7}$
		0.1	5.0	1 капля	—	45.5	0.7	$1 \cdot 10^{-7}$
Аскорбиновая	2.0	500.0	2.5	3.0	4.7	55.0	1.4	$9 \cdot 10^{-5}$
		150.0	2.9	1.8	4.9	53.0	1.3	$3 \cdot 10^{-5}$
		60.0	3.5	0.9	5.2	47.0	1.2	$5 \cdot 10^{-6}$
		30.0	4.0	0.7	5.5	46.0	1.1	$2 \cdot 10^{-6}$
		10.0	5.0	0.3	5.6	45.0	1.0	$1 \cdot 10^{-6}$
Серная	0.5	20.0	2.5	0.5	5.1	46.0	1.0	$9 \cdot 10^{-6}$
		10.0	2.9	0.3	5.2	45.0	1.0	$2 \cdot 10^{-6}$
		2.5	3.5	0.1	5.3	45.5	1.0	$6 \cdot 10^{-6}$
		0.7	4.0	1 капля	5.5	45.0	1.0	$2 \cdot 10^{-6}$
		0.1	5.0	—	5.7	45.5	1.0	$9 \cdot 10^{-7}$
Азотная	0.5	50.0	2.5	0.5	5.1	46.0	1.1	$6 \cdot 10^{-5}$
		15.0	2.9	0.2	5.3	45.0	1.0	$2 \cdot 10^{-5}$
		7.0	3.5	0.1	5.4	45.0	1.0	$8 \cdot 10^{-6}$
		3.0	4.0	1 капля	5.6	45.0	1.0	$3 \cdot 10^{-6}$
		1.2	5.0	—	—	44.5	1.0	$1 \cdot 10^{-7}$

нию степени неоднородности проявления по толщине слоя. Таким образом, при оптимальных условиях применение стоп-ванны приводит к разнообразным положительным результатам; и мнение Фрая и Харкера [13] о том, что стоп-ванну следует вообще исключить из процесса фотографической обработки толстослойных фотоматериалов для ядерных исследований, представляется поэтому совершенно неправильным.

Кривые рис. 1 свидетельствуют также о том, что с возрастанием величины pH раствора стоп-ванны до значения 4.0–5.0 происходит резкое уменьшение плотности следов для всех исследуемых кислот, а особенно для неорганических, имеющих малую буферность растворов. Этот факт противоречит утверждению некоторых авторов о том, что именно низкое значение pH раствора стоп-ванны приводит к уменьшению плотности следов при последующем фиксировании [13]. Нами было высказано пред-

положение, что в случае малой кислотности эмульсионного слоя и большой продолжительности стоп-ванны происходит прежде всего окисление сульфита натрия в слое. Вследствие отсутствия в эмульсионном слое консервирующего вещества имеется также возможность окисления металли-

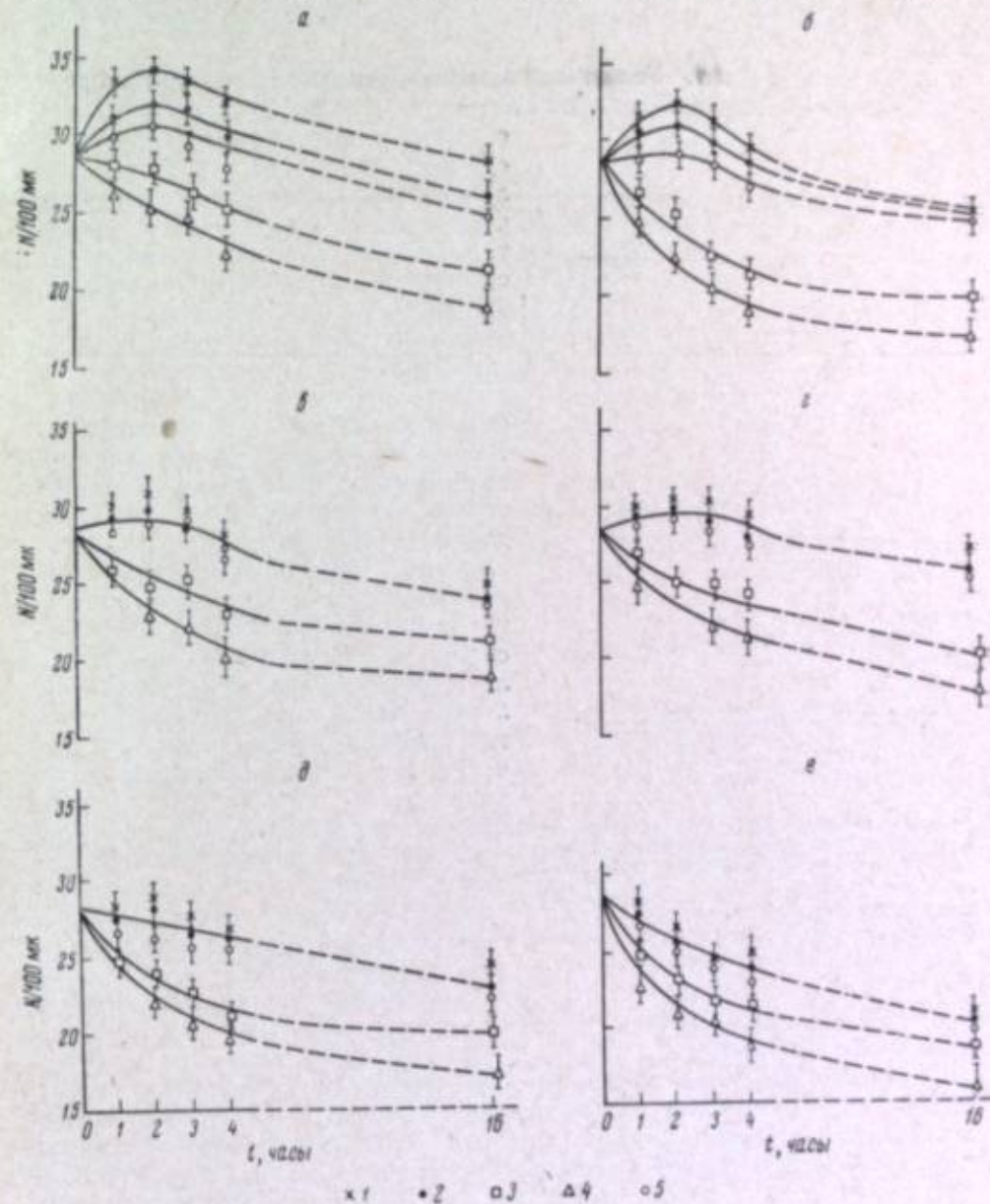


Рис. 1. Изменение величины  $N/100 \mu\text{м}$  в зависимости от продолжительности стоп-ванны, величины pH раствора и природы кислоты.

a — уксусная, б — лимонная, в — винная, г — аскорбиновая, д — серная, е — азотная кислота; 1 — pH=3.0, 2 — pH=3.5, 3 — pH=4.0, 4 — pH=5.0, 5 — pH=2.5.

ческого серебра в зернах следа окисленной формой проявляющего вещества, каковым в исследуемом нами случае является амидол.

Высказанное выше предположение проверялось и было подтверждено в двух опытах.

Первый опыт. Холодное пропитывание слоев производилось



в амидоловом проявителе при различных концентрациях сульфита натрия в нем — от 6 до 25 г/л. Величина pH во всех вариантах проявителей доводилась до одного и того же значения 6,2; одинаковыми были и условия проведения теплой стадии проявления. Для остановки проявления применялась 120-минутная стоп-ванна в растворе уксусной кислоты с pH=3,0 и pH=4,0.

Второй опыт. Условия холодного и теплого проявления во всех вариантах были одинаковыми, но стоп-ванна (раствор уксусной кислоты)

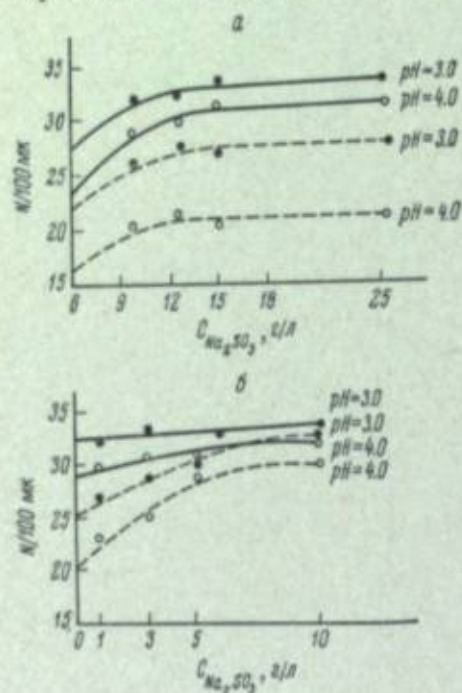


Рис. 2. Изменение величины  $N/100$  мк в зависимости от концентрации сульфита натрия, введенного в раствор проявителя (а) и в раствор стоп-ванны (б) при продолжительности стоп-ванны 120 мин. (сплошные кривые) и 16 часов (пунктирные кривые).

проявленного изображения в условиях второго опыта под влиянием окисленной формы амидола.

Процессу окисления металлического серебра изображения во время стоп-ванны способствует также повышение температуры останавливающего раствора. Кривые зависимости  $N/100$  мк от pH раствора стоп-ванны для различных температур, приведенные на рис. 3, показывают, что наибольшее падение  $N/100$  мк происходит при 22° С и pH=5,0. Такое падение плотности следов находится в прямой связи с окислением сульфита натрия, которое ускоряется при повышении температуры и величины pH раствора стоп-ванны.

Наряду с положительным консервирующим действием сульфит может оказывать и неблагоприятное действие, так как он может способствовать протеканию физического проявления в фиксирующих растворах. Результатом последнего обычно является увеличение оптической плотности дихроической вуали в проявленных эмульсионных слоях. Чтобы выяснить, насколько это действие сульфита может повлиять на результаты обработки слоев, мы провели описываемые ниже опыты.

содержала переменные количества сульфита натрия, от 1 до 10 г/л. Величина pH доводилась до тех же значений, что и в предыдущем опыте, т. е. до 3,0 и 4,0. Продолжительность стоп-ванны составляла, как и раньше, 120 мин., а также 16 часов.

На рис. 2, а приводятся кривые, относящиеся к первому опыту, а именно зависимость  $N/100$  мк от концентрации сульфита в проявителе. Как можно видеть, увеличение концентрации до 12 г/л приводит к некоторому увеличению  $N/100$  мк как для стоп-ванны продолжительностью 120 мин., так и для стоп-ванны продолжительностью 16 часов. Точно так же введение сульфита непосредственно в стоп-ванну приводит к увеличению  $N/100$  мк, причем это увеличение тем больше, чем больше концентрация сульфита, и наиболее отчетливо выявляется при длительности 16 часов, особенно при pH стоп-ванны, равном 4,0 (рис. 2, б). Таким образом, оба опыта показывают положительное влияние сульфита натрия как консервирующего вещества, препятствующего окислению центров скрытого изображения в условиях первого опыта и металлического серебра

## 6. Влияние на оптическую плотность слоя

На обычном черно-белом денситометре производилось определение оптической плотности  $D_0$  неэкспонированных участков обработанных эмульсионных слоев. Хотя в некоторых случаях слои имели отчетливую

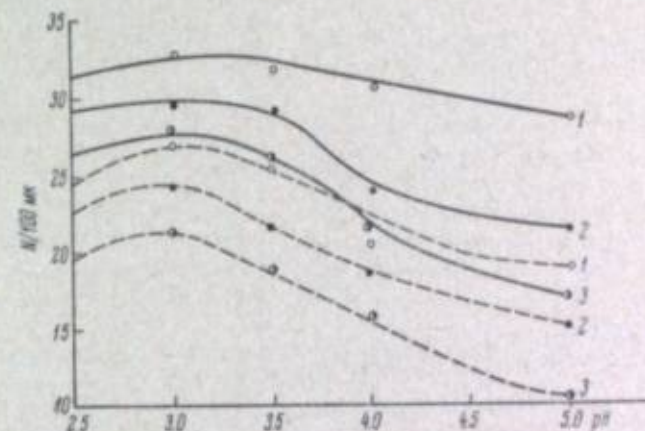


Рис. 3. Изменение величины  $N/100$  мк в зависимости от температуры и величины pH стоп-ванны (водного раствора уксусной кислоты) при продолжительности 120 мин. (сплошные кривые) и 16 часов (пунктирные кривые).

1 — 3° С; 2 — 12° С; 3 — 22° С.

желтизну, измерения в белом свете давали достаточно полное представление о характере образовавшейся вуали.

Из данных табл. 2 можно видеть, что в тех пределах концентраций сульфита, которые ведут к увеличению  $N/100$  мк (до 12 г/л), изменение

Таблица 2

Изменение оптической плотности эмульсионного слоя в зависимости от содержания сульфита натрия в проявителе и в растворе стоп-ванны (продолжительность стоп-ванны 120 мин.)

Величина pH раствора стоп-ванны	Раствор, в котором менялось содержание сульфита натрия	Оптическая плотность слоя $D_0$ при количестве сульфита на 1 л раствора, г							
		0	1	3	5	6	10	15	20
3,0	Амидоловый проявитель . . . . .	—	—	—	—	0,05	0,09	0,2	0,32
	Стоп-ванна . . . . .	0,09	0,10	0,12	0,14	—	0,16	—	—
4,0	Амидоловый проявитель . . . . .	—	—	—	—	0,16	0,2	0,3	0,43
	Стоп-ванна . . . . .	0,2	0,25	0,3	0,4	—	0,45	—	—

$D_0$  мало. Поэтому можно считать, что стандартную методику фотографической обработки бесподложечных слоев следует изменить по крайней мере в двух отношениях: во-первых, увеличить количество сульфита в проявителе до 12 г/л и, во-вторых, вводить некоторое количество сульфита в стоп-ванну.

Из кривых зависимости  $D_0$  от pH раствора стоп-ванны при продолжительности 120 мин., представленных на рис. 4 и 5, можно видеть, что с понижением pH раствора  $D_0$  уменьшается для всех исследованных кислот.



Наименьшие значения  $D_0$  достигаются в стоп-ваннах с уксусной или лимонной кислотами, так как их растворы обладают наибольшей буферностью.

Кривые зависимости  $D_0$  от длительности стадии стоп-ванны показывают, что с увеличением длительности величина  $D_0$  уменьшается, но при временах порядка 120—180 мин. достигает постоянного значения, которое уже нельзя уменьшить никаким удлинением времени нахождения слоя в стоп-ванне. Такой результат объясняется, с одной стороны, достижением постоянного значения pH эмульсионного слоя за время порядка 120—180 мин. (рис. 6) и, с другой стороны, окислением сульфита при длительном нахождении слоя в стоп-ванне; последний же, как отмечалось выше, об-

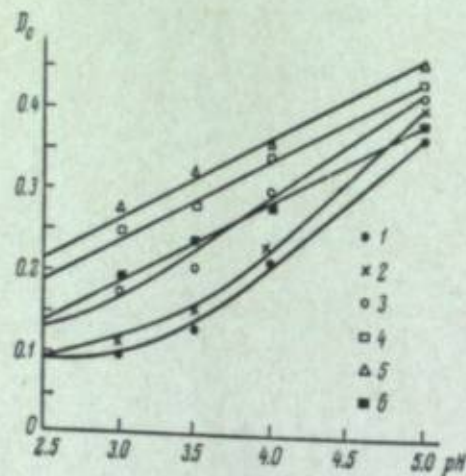


Рис. 4. Изменение  $D_0$  в зависимости от pH раствора стоп-ванны.

1 — уксусная кислота; 2 — лимонная кислота; 3 — аскорбиновая кислота; 4 — винная кислота; 5 — серная кислота; 6 — азотная кислота.

улавливает физическое проявление в фиксирующих растворах.

### III. Исследование степени набухания эмульсионных слоев в процессе фотографической обработки

В связи с нашей рекомендацией о проведении стоп-ванны в растворах кислот с низкими значениями pH мы считали целесообразным провести исследование степени набухания эмульсионных слоев в процессе их фотографической обработки для различных значений pH растворов стоп-ванны. Результаты соответствующих опытов приводятся на рис. 7, А и Б, где сопоставляются зависимости pH слоя и раствора стоп-ванны со степенью набухания слоев.

Как можно видеть на рис. 7, Б, степень набухания эмульсионных слоев находится в обратно пропорциональной зависимости от величины

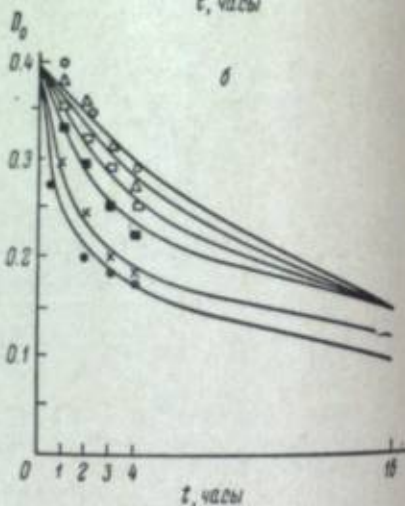
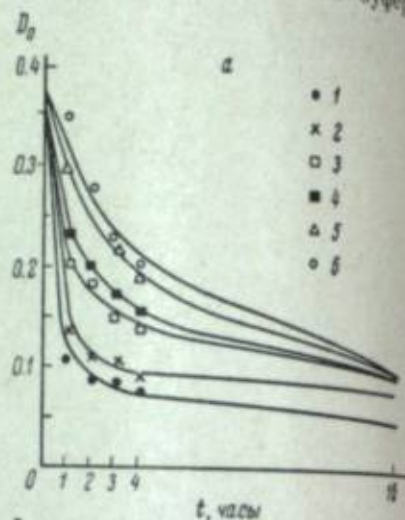


Рис. 5. Изменение  $D_0$  в зависимости от продолжительности, величиной pH раствора (а — pH=3,0, б — pH=4,0) и природы кислоты стоп-ванны.

1 — уксусная кислота; 2 — лимонная кислота; 3 — аскорбиновая кислота; 4 — винная кислота; 5 — азотная кислота; 6 — серная кислота.

pH раствора стоп-ванны, а значит и от величины pH самого слоя (ср. рис. 7, А). Этот факт хорошо согласуется с данными ряда работ [4, 6, 8, 9]. Однако, как показывают те же кривые, предельная степень набухания слоя в конечной стадии обработки (при промывке) не обнаруживает сколько-нибудь существенной зависимости от степени набухания слоя в стоп-ванне. Следует заметить, что во всех вариантах проведения стоп-ванны, сравниваемых на рис. 7, А и Б, окончательное значение pH эмульсионного слоя после окончания промывки одинаково и равно 6.45.

Определялись также коэффициенты деформации следов в изучавшихся эмульсионных слоях. Как оказалось, по крайней мере в пределах исследованного интервала значений изменение величины pH стоп-ванны на деформацию следов не оказывает почти никакого влияния. Соответствующие данные приводятся в табл. 3.

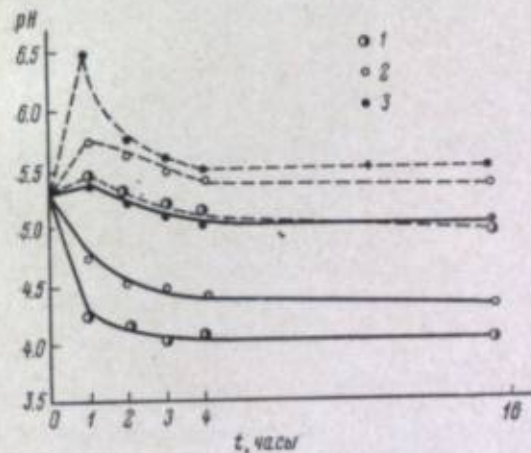


Рис. 6. Изменение pH эмульсионного слоя в зависимости от продолжительности, величины pH раствора и природы кислоты стоп-ванны.

Сильные кривые — pH=3,0, пунктирные кривые — pH=5,0. 1 — уксусная кислота; 2 — лимонная кислота; 3 — серная кислота.

3. Показано, что большая продолжительность стоп-ванны (120 мин.), низкое значение pH (2.5—3.5) и высокая кислотность ее приводят к резкому уменьшению степени коррозии металлического серебра изображения во время последующего фиксирования. Указанные условия проведения стоп-ванны предотвращают окисление сульфита натрия в эмульсионном слое, который в свою очередь препятствует окислению металлического серебра под действием окисленной формы амидола.

4. Показано, что степень набухания слоев в стадии стоп-ванны не оказывает существенного влияния на предельную степень набухания слоев в конечной стадии фотографической обработки и что коэффициент деформации следов остается постоянным при изменении величины pH стоп-ванны от 2.5 до 5.0.

Таблица 3

Деформация следов релятивистских частиц в эмульсионных слоях типа БР-1 при 120-минутной стоп-ванне в растворах уксусной кислоты с различными значениями pH

Величина pH раствора стоп-ванны . . . . .	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
Величина pH эмульсионного слоя после проведения стоп-ванны . . . . .	4.0	4.15	4.5	4.8	5.3
Коэффициент деформации (ковансов) . . . . .	58	53	50	55	52

### Выводы

1. Исследовалось влияние ряда факторов в стадии стоп-ванны (природы кислоты, величины pH, продолжительности, температуры раствора стоп-ванны) на фотографические свойства, набухание и деформацию следов в эмульсионных слоях типа БР-1.

2. Подтверждена необходимость стоп-ванны в общем цикле фотографической обработки толстослойных материалов для ядерных исследований и показаны разнообразные функции, выполняемые этой стадией обработки.



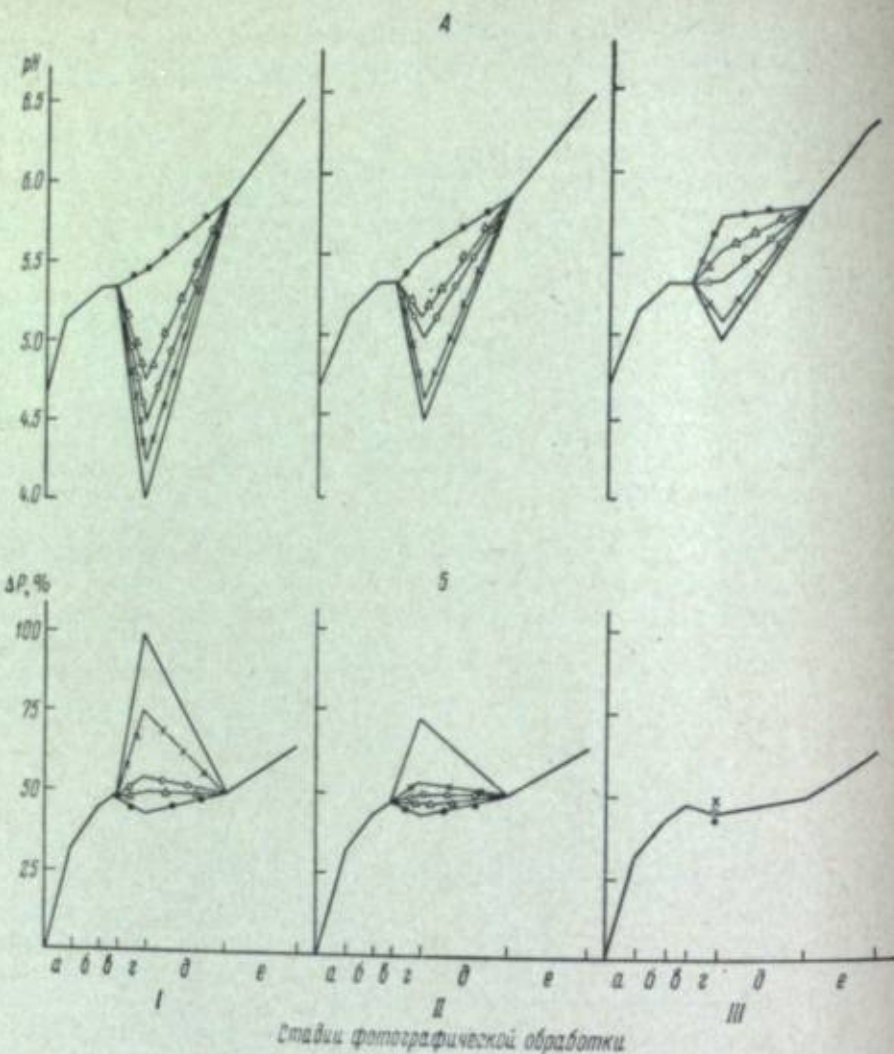


Рис. 7. Изменение pH эмульсионного слоя и степени его набухания в процессе фотографической обработки.

а — пропитывание в дистиллированной воде, б — пропитывание в холодном проявителе, в — теплая «мокрая» студия, г — стоп-ванна, д — фиксирование, е — промывка. I — насыщенный раствор, II — лимонная кислота, III — серная кислота.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] С. Дилворз, Г. Оккиалини, Л. Вермезен, В сб. «Фотографическая регистрация иониз. излучений» ИЛ, М., 1953, 114.
- [2] А. Бонетти, С. Дилворз, С. Р. Пелк, Л. Скарси. Ядерные эмульсии. Физматгиз, 1961, 16.
- [3] A. J. Negz, Sci. et inds phot, 23A, 350, 1952.
- [4] В. М. Уварова, В. А. Мильцева, Материалы совещ. по методике толстослойн. фотоэмульсий, ОИЯИ, 2, 15, 1957.
- [5] К. М. Романовская, Материалы совещ. по методике толстослойн. фотоэмульсий, ОИЯИ, 2, 18, 1957.
- [6] В. М. Уварова, Н. В. Аносова, Тр. НИКФИ, вып. 11 (21), 43, 1957.
- [7] В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова, В. А. Мильцева, К. М. Романовская, Photographie corpusculaire II, ed. Univ. Montreal, 1959, 167.
- [8] Д. М. Самойлович, Материалы совещ. по методике толстослойн. фотоэмульсий, ОИЯИ, 1, 21, 1957.
- [9] Д. М. Самойлович, Е. С. Барнинова, Ю. Г. Мартынов, Приб. и техн. экспер., № 5, 30, 1957.
- [10] А. Гарзи, Г. Фараджи. Ядерная фотография. Изд. АН СССР, 1962, 271.

- [11] J. E. Hooper, E. Dahl-Jensen, E. B. Neegard, Suppl. Nuovo Cimento, 15, 211, 1960.
- [12] Л. Г. Баранова, препринт ОИЯИ, № 1022.
- [13] M. Frye, D. Harker, Korpuskularphotographie IV, München, 1963, 336.
- [14] H. Frieser, G. Heimann, H. Eger, Korpuskularphotographie IV, München, 1963, 339.
- [15] W. H. Barkas. Nuclear Research Emulsions, 1. Acad. Press, N. Y. a. London, 1963, 473.
- [16] К. С. Богомолов, А. А. Сиротинская, М. Ю. Дебердеев, В. М. Уварова, Тр. НИКФИ, вып. 11 (21), 73, 1957.
- [17] К. В. Старини, Э. А. Груз, Тр. НИКФИ, вып. 11 (21), 102, 1957; Приб. и техн. экспер., № 5, 28, 1958.
- [18] Н. А. Довина, А. К. Попова, Приб. и техн. экспер., № 4, 92, 1957.
- [19] Т. И. Крестовникова, В. М. Уварова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 92, 1964.
- [20] В. М. Уварова, В. А. Мильцева, Усп. научн. фотогр., 7, 150, 1960.
- [21] V. Major, Brit. J. Appl. Phys., 3, 309, 1952.
- [22] Н. И. Кириллов. Фиксирование и промывка фотографических материалов. Госкиноиздат, М., 1948, 84.
- [23] Н. И. Кириллов, А. М. Войцеховская, Н. Е. Кириллова, Усп. научн. фотогр., 7, 236, 1960.



В. М. УВАРОВА, Т. П. КРЕСТОВНИКОВА

### ВЛИЯНИЕ ОКИСЛЕННОЙ ФОРМЫ ПРОЯВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА КОРРОЗИЮ ИЗОБРАЖЕНИЯ СЛЕДОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ФОТОМАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В литературе имеется ряд сведений о том, что низкое значение рН фиксирующих растворов вызывает коррозию металлического серебра изображения и приводит к уменьшению плотности зерен в следах релятивистских частиц [1—5]. Предлагаемые механизмы этого процесса [2, 5] нам кажутся недостаточно убедительными и маловероятными после того, как нами получены противоположные результаты в отношении влияния низких рН на плотность следов заряженных частиц в фотоэмульсионных слоях. Как показано в предыдущей статье этого сборника, в случае выдерживания эмульсионного слоя в уксуснокислой стоп-ванне с величиной рН=3.0 достигается, напротив, наибольшее возможное значение плотности следов релятивистских частиц, хотя величина рН самого слоя перед началом фиксирования становится в этом случае равной 4. При проведении же стоп-ванны в растворах с более высоким значением рН, когда величина рН слоя перед началом фиксирования доходит до 5 и даже больше, плотность следов оказывается много меньшей. Как можно думать, эти результаты обусловлены тем, что низкое значение рН растворов препятствует окислению амидола, и поэтому нами было выдвинуто предположение, что присутствие окисленной формы амидола в стадии фиксирования эмульсионного слоя является причиной той коррозии, которая вызывает уменьшение плотности следов частиц после фиксирования.

Можно указать, что аналогичные представления развиваются Брауном, назвавшим этот особый вид коррозии «катастрофической» коррозией [6]. Однако Браун наблюдал полное исчезновение металлического серебра изображения при добавлении нескольких миллилитров амидолового проявителя в фиксирующий раствор, тогда как в наших опытах введение проявляющего раствора в фиксаж не вызвало коррозии изображения.

Для подтверждения высказанного нами предположения о влиянии окисленной формы проявляющего вещества на величину плотности следов было проведено специальное исследование, излагаемое ниже. Оно выполнялось на эмульсионных слоях типа БР-1, облученных на бетатроне электронами 12—14 Мэв [7] и обработывавшихся в наклеенном на стекло состоянии мокрым методом [8]. Фотографическая чувствительность (число зерен  $N$  на 100 мк следа) и фотографическая вуаль (число зерен  $n$  на 1000 мк<sup>2</sup>) определялись по обычной методике [9].

128

Окисленные растворы проявляющих веществ — амидола или 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолона-(5) (сокращенно называемого КФ-38) приготавливались следующим образом. Проявляющее вещество в количестве 3 г растворялось в 1 л дистиллированной воды. Раствор выстаивал в течение 90 мин. при комнатной температуре в колбе с открытой пробкой, после чего некоторые количества этого раствора вводились в растворы уксусной кислоты со значениями рН=3.0 и рН=4.0 или в фиксирующий раствор с рН=5.8. При введении окисленного раствора проявляющего вещества КФ-38 окраска рабочих растворов практически не изменялась. Окисленная форма амидола вызывала слабо розовое окрашивание раствора уксусной кислоты при рН=3.0 и темно-коричневое при рН=4.0. Фиксирующий раствор с рН=5.8 также окрашивался в темно-коричневый цвет. Продолжительность нахождения слоев в стоп-ванне составляла 120 мин. а в фиксаже — 40 часов. Как стоп-ванна, так и фиксирование проводились при температуре 4° С.

Результаты проведенных опытов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние окисленной формы проявляющих веществ на плотность следов релятивистских частиц в эмульсионных слоях типа БР-1

Раствор, в который вводился окисленный раствор проявляющего вещества	Величина рН раствора стоп-ванны	Окисленное проявляющее вещество	Величина $N/100$ мк при количестве (мг) раствора окисленного проявляющего вещества, добавленного на 100 мк рабочего раствора			
			0	2	5	10
Раствор уксусной кислоты (стоп-ванна).	3.0	Амидол.	37.2	33.0	30.0	27.3
		КФ-38.	34.2	33.8	33.1	32.4
	4.0	Амидол.	33.0	Следы полностью разрушены коррозией.		
		КФ-38.	33.8	33.3	32.6	32.0
Фиксирующий раствор, рН=5.8.	3.0	Амидол.	37.2	31.4	26.2	Следы разрушены.
		КФ-38.	34.2	33.7	33.0	32.5
	4.0	Амидол.	33.0	Следы полностью разрушены коррозией.		
		КФ-38.	33.8	33.1	33.0	32.4

Примечания. 1. Различия исходных значений  $N/100$  мк для амидола и КФ-38 (на контрольных слоях) объясняются тем, что опыты проводились на различных эмульсиях, несомненно различающихся чувствительностью. 2. Для фиксирования применялся раствор следующего состава: тиосульфат натрия (кристаллический) — 400 г, метабиосульфит натрия — 1 г, вода дистиллированная — до 1 л.

Как можно видеть из приведенных в табл. 1 данных, окисленная форма амидола вызывает полное коррозионное разрушение следов, если стоп-ванна проводится при рН=4.0; в случае же введения больших количеств окисленной формы амидола коррозия становится значительной и при более низком значении рН. Во всяком случае, усиление коррозии соответствует именно повышению рН стоп-ванны. Что же касается проявляющего вещества КФ-38, то ни в случае введения его окисленного раствора в стоп-ванну, ни в случае введения в фиксирующий раствор это вещество практически не вызывает никакой коррозии.

Таким образом, из проведенных опытов, суммированных в табл. 1, следует, что причиной коррозии металлического серебра изображения следов во время фиксирования слоев ядерных эмульсий является плохо проведенная стоп-ванна, в результате которой в раствор фиксажа переходит окисленная форма амидола.

В литературе неоднократно отмечалось [10—12], что присутствие в фиксирующем растворе ионов серебра уменьшает коррозию зерен в следах частиц с минимальной ионизацией. Поэтому мы провели ряд опытов



Таблица 2

Влияние сульфата натрия и ионов серебра в фиксирующем растворе на коррозию изображения следов релятивистских частиц под влиянием окисленной формы амидола

рН раствора фиксажа	рН раствора стоп-ванны	Количество (мл) окисленного раствора амидола на 100 мл раствора фиксажа	Величина $N/100$ жк				
			без введения $\text{Na}_2\text{SO}_4$ или $\text{AgNO}_3$	содержание $\text{AgNO}_3$ (г) в 1 л раствора фиксажа		содержание $\text{Na}_2\text{SO}_4$ (г) в 1 л раствора фиксажа	
				5	10	5	10
4.7	3.0	0	33.1	32.4	33.1	33.0	33.4
		5	25.0	25.4	28.3	30.2	30.5
	4.0	0	29.5	29.1	29.4	29.2	29.8
		5	24.5	24.3	26.8	28.0	28.6
5.8	3.0	0	31.7	31.0	31.8	32.0	32.4
		5	21.8	22.0	23.2	29.2	30.0
	4.0	0	28.3	28.2	28.6	29.6	29.6
		5	Следы полностью разрушены коррозией.		17.1	25.1	25.2

по сопоставлению влияния ионов серебра (в форме азотнокислого серебра в растворе) и сульфата натрия на коррозию зерен под действием окисленной формы амидола во время фиксирования. Результаты этих опытов сведены в табл. 2. Как можно видеть, хотя ионы серебра и уменьшают коррозию, но значительно меньше, чем сульфит натрия, и практическое использование консервирующей способности азотнокислого серебра в фиксаже вряд ли возможно, тогда как сульфит натрия в качестве консервирующего вещества представляет несомненный интерес.

### Выводы

1. Исследовано влияние окисленной формы двух проявляющих веществ — амидола и 1-фенил-3-метил-4-аминопиразолона-(5) на коррозию следов релятивистских частиц в ядерных эмульсиях.
2. Установлено, что из двух исследованных веществ только амидол в окисленной форме представляет собой источник коррозии металлического серебра проявленных зерен во время фиксирования.
3. Протеканию коррозии во время фиксирования препятствуют низкое значение рН предшествующей стоп-ванны и присутствие в фиксирующем растворе сульфата натрия.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Н. И. Кириллов. Фиксирование и промывка фотографических материалов. Госкиноиздат, М., 1948, 20.
- [2] Д. М. Самойлович, Е. С. Барникова, Приб. и техн. эксперим., № 3, 46, 1956.
- [3] D. Neugebaert, J. Neugebaert, Nuovo Cimento, 12, 623, 1959.
- [4] C. Neuman, Helv. Phys. Acta, 33, № 9, 1960.
- [5] M. Nicolae, Sci. et inds. phot. 33, 161, 1962.
- [6] H. Braun, J. de Phys. et Rad., 24, suppl. № 7, 73, 1960.
- [7] К. В. Старини, Э. А. Груз. Тр. НИКФИ, вып. 11 (24), 102, 1957; Приб. и техн. эксперим., № 5, 28, 1958.
- [8] Т. И. Крестовникова, В. М. Уварова, Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 9, 92, 1964.
- [9] Технич. условия на фотоматериалы для ядерн. исслед., изд. НИКФИ, 1964.
- [10] E. Dahl-Jensen, J. Scient. Instrum., 37, 360, 1960.
- [11] G. Meulemans, Suppl. Nuovo Cimento, 12, 410, 1954.
- [12] H. Braun, J. Cornil, G. Meulemans, Intern. Conf. Cosmic Rays, Bagnères-de-Bigorre, 1953.

И. Б. БЕРКОВИЧ, Л. И. ШУР

### РЕГИСТРАЦИЯ $\alpha$ -ЗВЕЗД ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР И ВРЕМЕННОЕ РАЗЛИЧЕНИЕ СЛЕДОВ $\alpha$ -ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ

Как известно, регистрация и идентификация радиоактивных ядер, испытывающих  $\alpha$ -распад, производится по энергетическим спектрам  $\alpha$ -частиц. Наряду с другими детекторами для этой цели применяются ядерные эмульсии.

Если радиоактивные ядра синтезированы на ускорителе, то обычно сборник ядер переносят в неактивную зону и приводят в контакт со слоем ядерной эмульсии. После отделения слоя от сборника и его проявления производят измерения длин следов  $\alpha$ -частиц и получают их энергетический спектр. В данной работе сделана попытка разработать способ, который позволил бы не только регистрировать  $\alpha$ -частицы, вылетающие из исследуемых радиоактивных ядер, но и вводить сами ядра в эмульсию.

Как уже сообщалось нами ранее [1, 2], сборником радиоактивных ядер первоначально служила желатиновая пленка. После накопления на ней ядер производилась двухсторонняя склейка этой пленки с двумя чувствительными фотоэмульсионными слоями. Полученный трехслойный пакет регистрировал цепочки  $\alpha$ -распадов накопленных ядер. При подборе клея для склейки пакета было замечено, что в случае более жидкого клея значительное количество ядер диффундирует из желатиновой пленки в эмульсионные слои. Это явление диффузии и было в дальнейшем использовано нами для введения ядер в фотографическую эмульсию.

В первых опытах ядра вводились в бумажную фольгу (тонкая бумага, толщиной 5—10 мк). Бумажная фольга, наполненная радиоактивными ядрами, приводилась в соприкосновение с эмульсионными слоями двух фотопластинок типов Я-2 или Р-НИКФИ, выкупанными предварительно в дистиллированной воде. Время контакта между поверхностями бумажной фольги и эмульсионных слоев составляло 2 мин. За это время 70—80% ядер, содержащихся в бумажной фольге, переходило за счет диффузии в эмульсионные слои. Затем бумажная фольга удалялась, а эмульсионные слои сушились как в вакууме, так и в обычных условиях. Сушка в вакууме позволяла сократить время сушки до трех минут. После некоторого промежутка времени в те же эмульсионные слои (предварительно повторно выкупанные в дистиллированной воде) вводилась вторая порция радиоактивных ядер, накопленных в другой бумажной фольге. Приводя в контакт с теми же эмульсионными слоями новые бумажные фольги, содержащие радиоактивные ядра, мы тем самым вводили в слои новые порции ядер.

На бумажных фольгах в вакууме обычно собирались ядра  $\text{Ra}^{224}$  ( $\text{AcX}$ ) и  $\text{Ra}^{224}(\text{ThX})$ , возникавшие в результате  $\alpha$ -распада  $\text{Th}^{227}(\text{RdAc})$  и



$\text{Th}^{228}$  (RdTh). Регистрировались четырехлучевые  $\alpha$ -звезды, представляющие собою видимое изображение цепочек  $\alpha$ -распада ядер  $\text{Ra}^{223}$  и  $\text{Ra}^{224}$ . В эмульсии типа Р-НИКФИ в  $\alpha$ -звездах были видны следы электронов  $\beta$ -распадов, имевшихся в этих цепочках (рис. 1).

В дальнейших опытах в качестве сборников ядер мы использовали пластинки из молибдена, бериллия, нержавеющей стали, алюминия, титана, тантала и других металлов. В фотоэмульсию, кроме ядер  $\text{Ra}^{223}$  и  $\text{Ra}^{224}$ , вводились также другие радиоактивные ядра (синтезированные на ионном ускорителе и полученные в реакторе). Металлический сборник

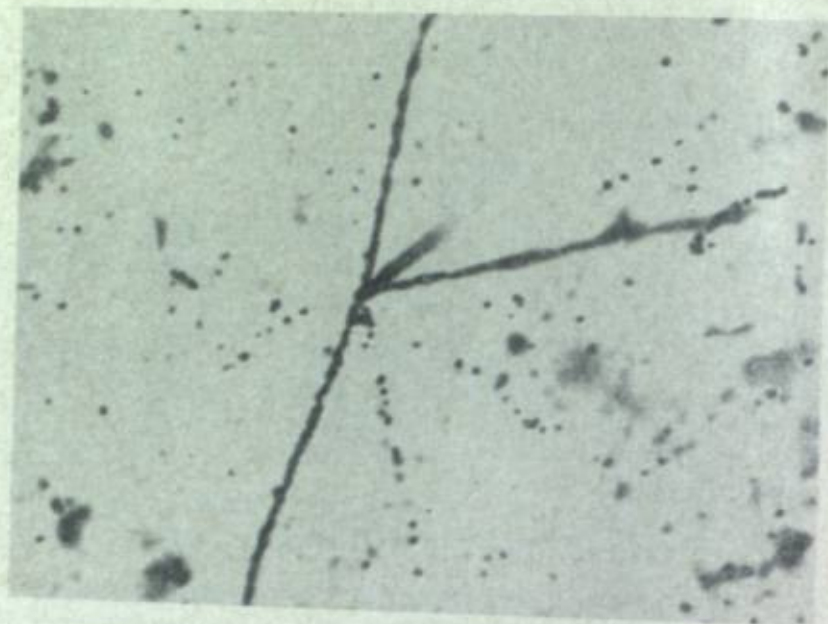


Рис. 1. Типичный вид  $\alpha$ -звезды в эмульсии НИКФИ тип Р.

с накопленными ядрами приводился в контакт с фотопластинкой типа Р-НИКФИ (толщина слоя 100 мк), предварительно выкупанной в дистиллированной воде. Контакт производился непосредственно с поверхностью фотослоя, а также через тонкую бумажную фольгу. Для контроля сборник (до мокрого контакта) контактировался с сухой фотопластинкой.

Проведенные опыты указывают на зависимость числа протифундированных в эмульсию ядер как от материала сборника, так и от сорта диффундирующих ядер (при прочих равных условиях). Так, при диффузии ядер данного сорта из молибдена, бериллия, нержавеющей стали, алюминия, титана и тантала в эмульсию (при одинаковом количестве ядер, собранных на каждом из сборников) количества протифундированных ядер относятся для одного сорта ядер как 1 : 3 : 3 : 3 : 1.5 : 2, а для другого сорта ядер соответственно как 2 : 1 : 1 : 1.5 : 1 : 1.

Для исследования распределения протифундированных ядер по глубине подсчитывалось число  $\alpha$ -звезд в трех частях эмульсионного слоя: на глубине 0—15 мк (считая от стекла), 15—30 мк и 30—45 мк. Из 10 100 ядер  $\text{Ra}^{223}$  в слой 0—15 мк протифундировало 3100, в слой 15—30 мк — 3275 и в слой 30—45 мк — 3725 ядер. Эти результаты, так же как и опыты с другими ядрами, показывают более или менее равномерное распределение протифундированных ядер по глубине эмульсионного слоя. Измерение длин следов от  $\alpha$ -частиц данной энергии показывает, что следы  $\alpha$ -частиц, возникающие при распаде ядер в мокрой эмульсии, менее плот-

ные и по своим длинам превосходят длины следов таких же  $\alpha$ -частиц в сухой эмульсии (рис. 2). Этот эффект может быть использован для временного различения следов  $\alpha$ -частиц.

Мы продолжили также исследование явления ускоренной регрессии в парах перекиси водорода, как средства для временного различения следов  $\alpha$ -частиц в ядерных эмульсиях. К настоящему времени мы испытали эмульсию типа НИКФИ-Р (результаты по эмульсиям типов А-2, Я-2 и К были доложены на совещании в Дубне [3]). Опыты показали, что и для эмульсии Р-НИКФИ имеют место такие же закономерности, как для

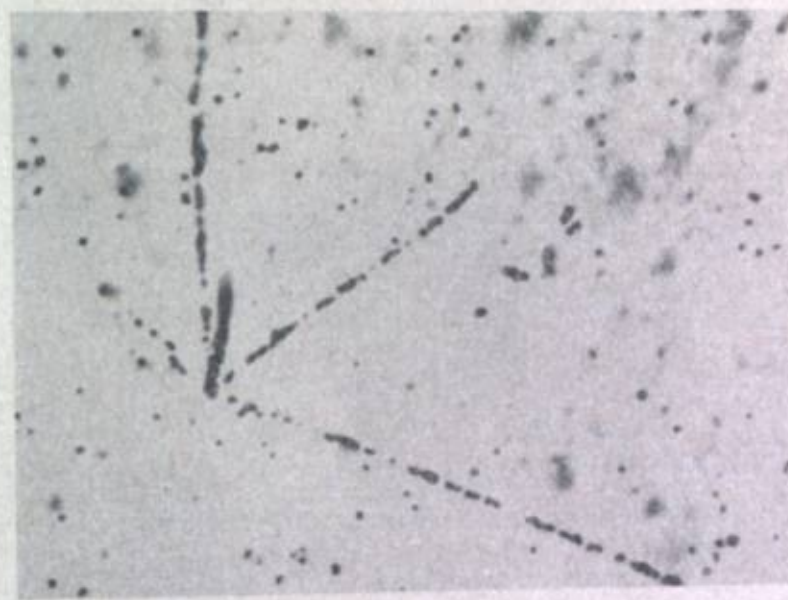


Рис. 2. Типичный пример  $\alpha$ -звезды во влажной эмульсии.

эмульсий А-2, Я-2 и К. При выдерживании фотопластинок в парах перекиси водорода количество следов  $\alpha$ -частиц остается практически постоянным в течение некоторого времени  $\tau$ . Явление регрессии в пределах этого промежутка обнаруживается в том, что диаметр проявленных зерен уменьшается, между зернами появляются просветы, изображение следа становится более вязким. Ощутимые изменения характеристик следа (например, изменение средней полуширины, измеряемой микроскопом) происходят при хранении пластинок в течение времени  $t > \tau_0$  (естественно,  $t \leq \tau$ ); здесь  $\tau_0$  — время, за которое практически не меняется полуширина следа.

Результаты проведенных опытов указывают на возможность различать следы  $\alpha$ -частиц, регистрируемых через 5-минутные интервалы.

При анализе  $\alpha$ -звезд наблюдается интересное явление, состоящее в том, что при диффузии вглубь эмульсионного слоя радиоактивного ядра, испытывающего последовательный  $\alpha$ -распад, диффузия прекращается после первого акта распада.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] И. Б. Беркович, Л. И. Шур, Авт. свидетельство № 167912, приоритет от 4 июля 1964 г.
- [2] И. Б. Беркович, А. П. Жданов, Г. Г. Мартыш, Л. И. Шур, Препринт ОИЯИ № 1749, Дубна, 1964, 75.
- [3] И. Б. Беркович, А. П. Жданов, К. И. Ефимова, Препринт ОИЯИ № 1749, Дубна, 1964, 64.



### III. ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ СЛЕДОВ В ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

А. С. АССОВСКАЯ, Ф. Г. ЛЕПЕХИН, М. М. МАКАРОВ,  
Р. М. РАГУЗИН, Г. Е. СКВОРЦОВ, Н. М. ФЕДОРОВА

#### РАЗРАБОТКА ПЕРВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБРАЗЦОВ МИКРОСКОПОВ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЙ С АВТОМАТИЧЕСКИМ ВЫВОДОМ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ И ПРАКТИКА ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВМЕСТНО С ЭЛЕКТРОННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ

1. Одним из главных недостатков использования эмульсионных камер в физике высоких энергий на больших ускорителях является очень большая трудоемкость поиска и обработки событий. Сознание этого недостатка всегда являлось стимулом многочисленных разработок разнообразных приспособлений к промышленным микроскопам. Многие из этих приспособлений рассматривались на предыдущих конференциях по ядерной фотографии. В частности, на Третьем международном коллоквиуме по ядерной фотографии в Москве А. П. Жданов и Ф. Г. Лепехин выступили с программой разработки и создания комплекса специальных микроскопов для выполнения всех основных работ с ядерными фотоэмульсиями. Предусматривалось в дальнейшем получение таких приборов от промышленных предприятий в серийном виде.

2. В настоящее время в осуществление этой программы ленинградским объединением оптико-механических предприятий (ЛООМЦ) по заказу и при научном руководстве Ленинградского физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР разработаны и выпущены следующие приборы для работ с ядерными фотоэмульсиями:

- 1) микроскоп для поиска событий в фотоэмульсии МПЭ-1;
- 2) микроскоп для измерений геометрических характеристик следов МИЭ-1 с вычислительным устройством ВУМ-1;
- 3) микроскоп для измерений многократного рассеяния частиц в эмульсиях МИРЭ-1;
- 4) микроскоп для измерений ионизации на следах многозарядных и однозарядных частиц в фотоэмульсиях МИЭ-1.

Краткая характеристика новых советских микроскопов для ядерных фотоэмульсий и практика их использования совместно с электронной вычислительной машиной «Минск-1» даются ниже.

3. Микроскоп МПЭ-1 является первым промышленным прибором для поиска событий в фотоэмульсии наблюдателем. Предусмотрены перемещение стола с препаратом с постоянной и регулируемой скоростью по оси X или шагами в этом же направлении, перемещение стола в вертикальном направлении в заданных пределах и с регулируемой скоростью, а также запись координат событий и их признаков на бумажную ленту вычислительным устройством.

Поскольку отбор и анализ событий производится наблюдателем как и на обычном микроскопе, а последующая информация машинной переработке не подвергается, выигрыш в эффективности использования микроскопа МПЭ-1 оказался не столь значительным, как предполагалось.

4. Микроскоп МИГЭ-1 является специализированным измерительным прибором, предназначенным в комплексе с вычислительным устройством ВУМ-1 для определения длин отрезков и углов между следами частиц в ядерных фотоэмульсиях.

Установка измеряемых следов в поле зрения микроскопа производится наблюдателем, по команде которого данные с датчиков координат микроскопа записываются на магнитной ленте в двоичном коде. При считывании этих данных с ленты устройство ВУМ-1 вычисляет и печатает на бумаге длину отрезка в микронах, направляющие косинусы, косинус угла в пространстве между двумя следами, а также номера следа, квадранта, слоя и расщепления.

Особенностью микроскопа МИГЭ-1 является наличие двоичных датчиков на всех трех осях стола микроскопа и его бинокулярной насадки, так что измерения могут вестись в пространстве препарата или его изображения.

Записывающее устройство представляет собой магнитофон, работающий в старт-стопном режиме, с ферромагнитной лентой шириной 6,3 мм.

Микроскоп удобен в эксплуатации и обеспечивает повышение производительности труда в 5—6 раз по сравнению с аналогичными измерениями на МБИ-9 или МБИ-8М.

Вычислительное устройство ВУМ-1 является автоматической цифровой электронной вычислительной машиной для вычисления геометрических характеристик следов по данным, записанным на микроскопе МИГЭ-1.

ВУМ-1 решает задачи по двум программам, реализованным в схеме управления операциями с одноадресной системой команд. Все логические узлы ВУМ-1 выполнены на феррит-транзисторных ячейках. Выходным устройством является БЦПУ-15. Средняя скорость вычислений — 300 опер./сек. Общее количество полупроводниковых триодов — 1600 шт., время решения задачи, включая печать, — 3 сек.

Время получения информации о геометрии следов и событий при использовании ВУМ-1 сокращается в 10—15 раз.

5. Микроскоп МИРЭ-1 является специализированным прибором высокого класса для измерения многократного кулоновского рассеяния частиц в фотоэмульсиях, с выводом цифровой информации в двоичном коде на бумажную ленту для последующей ее обработки на универсальной электронной вычислительной машине (ЭВМ) «Минск».

Стол микроскопа имеет фторопластовые направляющие с рабочим ходом 60 мм и поворот на 360° вокруг оптической оси. Фокусировка производится перемещением объектива на пружинных направляющих.

Микроскоп МИРЭ-1 имеет объектив планмонокромат с апертурой 1,25 и рабочим отрезком 500 мм.

Измерительное устройство микроскопа обеспечивает отсчет  $y$ -координат с двоичного датчика в широком диапазоне с ценой младшего разряда 0,025 мк. Значения  $y$  — координаты при измерении рассеяния наносится на телеграфную ленту перфоратором ПЛ при нажатии наблюдателем кнопки «запись».

Массивы чисел, относящиеся к одной серии измерений, разделяются знаком «конец ввода» и пробелом на ленте.

Шумы стола и микромеханизма контролируются встроенным многолучевым интерферометром.



Следующий шаг — это микрокоп МИЭ-1, МИЭ-2 и МИЭ-3, а также их более совершенные варианты — МИЭ-4, МИЭ-5 и МИЭ-6. Эти аппараты позволяют измерять размеры частиц в широком диапазоне энергий и масс, а также в различных средах. Они имеют высокую точность измерений и высокую скорость обработки данных.

Для обработки данных по рассеянию с микрокопом МИЭ-1 или ЭВМ «Минск-1» составлены и отлажены различные программы для измерения средних значений измерений вторых разностей и их стандартных отклонений с обработкой в беззвучном режиме. В приборах без перекрывающихся режимов по разности даны, против первоначальной данности, для которой были записаны относительные тона: следы наблюдений. Скорость обработки данных по рассеянию на МИЭ-1 промышленными измерениями увеличивается в 10–15 раз по сравнению с аналогичной работой на МБИ-8М.

Помимо измерения рассеяния, на микрокопе МИЭ-1 проведен значительный объем измерений ионизации по спектру просветов на следах реальных частиц. Достигнуто увеличение скорости съема и обработки данных по сравнению с таковыми же измерениями на микрокопе МБИ-8М в 3 раз.

В сравнении со светом пустых световых просветов дает существенно увеличение статистической точности определения относительной ионизирующей способности.

Таким образом, микрокоп МИЭ-1 совместно с ЭВМ «Минск-1» позволяет получать на рабочем следе частицы большой энергии параметр рассеяния по всей эмульсионной камере и относительную ионизацию на рабочих следах с максимальной точностью и во много раз быстрее, чем на обычных микрокопах.

6. Микрокоп МИЭ-1 является первым в мире промышленным прибором для ионизационных измерений в ядерных фотоэмульсиях.

Микрокоп может работать в двух режимах — как фотометрическая установка для измерения толщины и площадей участков следов сильно ионизирующих частиц и как установка для измерения спектра просветов, суммы длин просветов и числа пустиков на определенном участке следа быстрой ионизирующей частицы.

Съем информации осуществляется при помощи вибратора, сканирующего изображение следа целью переменной длины и ширины (в пределах  $0,2 \times 0,2$  мк), за которой находится фотоумножитель. Сигнал с ФЭУ подается на электронно-лучевую трубку, расположенную перед наблюдателем.

Обработка данных, вывод ее на ЦПУ-1, на электромеханические счетчики или на самописец осуществляется электронной частью микрокопа МИЭ, выполненной на лампах (около 300 шт).

Результаты испытаний МИЭ-1 в режиме фотометрирования на следах многозарядных ионов, полученных на ускорителях, показали хорошую разрешающую способность прибора ( $\sim 0,05$  мк) и высокую повторяемость (разброс во многих сериях не превышает 1%).

Измерение спектра просветов с последующей обработкой результатов на ЭВМ «Минск-1» показывает хорошее согласие данных о средней длине просвета, получаемых на МИЭ-1, на МИЭ-2 и при обычном измерении на МБИ-8М на различных следах различными наблюдателями. В то же время скорость измерения на МИЭ-1 в 40 раз больше, чем на МБИ-8М, и примерно в 10–12 раз больше, чем на МИЭ-1.

А. Е. ВОРОНКОВ, Г. Б. ЖДАНОВ, Л. В. СУХОВ,  
М. Ф. СОЛОВЬЕВА, М. И. ТРЕТЬЯКОВА,  
М. М. ЧЕРНЯВСКИЙ

### ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЛЕДОВ ЧАСТИЦ В ФОТОЭМУЛЬСИЯХ ТЕЛЕВИЗИОННЫМ МЕТОДОМ

За последний год нами произведена следующая модернизация в блоках аппаратуры ФИАН, предназначенной для измерения рассеяния и ионизации на следах частиц в ядерных эмульсиях, описанной ранее в докладе на третьем международном коллоквиуме по ядерной фотографии (Москва, 1960 г.).

1. До сих пор поперечные отклонения следа измерялись только по одному краю каждого зерна, в связи с чем вносились «шумы», обусловленные разбросом зерен по диаметру. В новом варианте информация, определяющая генерацию сигналов расстройки, получается симметрично от обоих краев зерен — от левого и правого фронта соответствующих электрических импульсов. Таким образом, отличие машинной логики от логики визуальных измерений связано теперь главным образом с меньшей длиной рабочей зоны (40 мк).

2. Телетайп, печатавший ранее цифровые данные по рассеянию на бумажной ленте, заменен теперь перфоратором, который переводит на перфокарты только данные о первых разностях  $Y$ -координат. Вся последующая процедура обработки, включая введение поправок на ложное рассеяние по величине  $\rho = D/D_2$ , может производиться электронной машиной по несложной программе. Дублирующим элементом выхода рассеяния является самописец, рисующий наглядную картину рассеяния следа на бумажной ленте.

3. Вместо дифференциального спектра разрывов по длинам снимается непосредственно интегральный спектр, который позволяет определить среднюю длину разрыва  $\bar{l}$  и соответствующий ионизационный параметр  $g$  со значительно большей точностью, чем ранее, пользуясь при этом следующей простой формулой:

$$g = \bar{l}^{-1} = \frac{\sum_{i=1}^{i-10} i(N_i - N_{i+1}) + 11N_{11}}{N_1 - N_{11}}$$

где  $i$  — номер канала анализатора длин, а  $N_i$  — число отсчетов в соответствующем канале.

После проведенной модернизации мы предприняли новое исследование рабочих характеристик аппаратуры. На рис. 1 показаны интегральные распределения вторых разностей  $Y$ -координат на нескольких следах



протонного пучка с импульсом 19.6 Бэв/с в эмульсии Илфорд G-5, измеренные один раз автоматически либо по фронтам импульсов от изображений зерен (ФР), либо по центру тяжести группы зерен в поле зрения

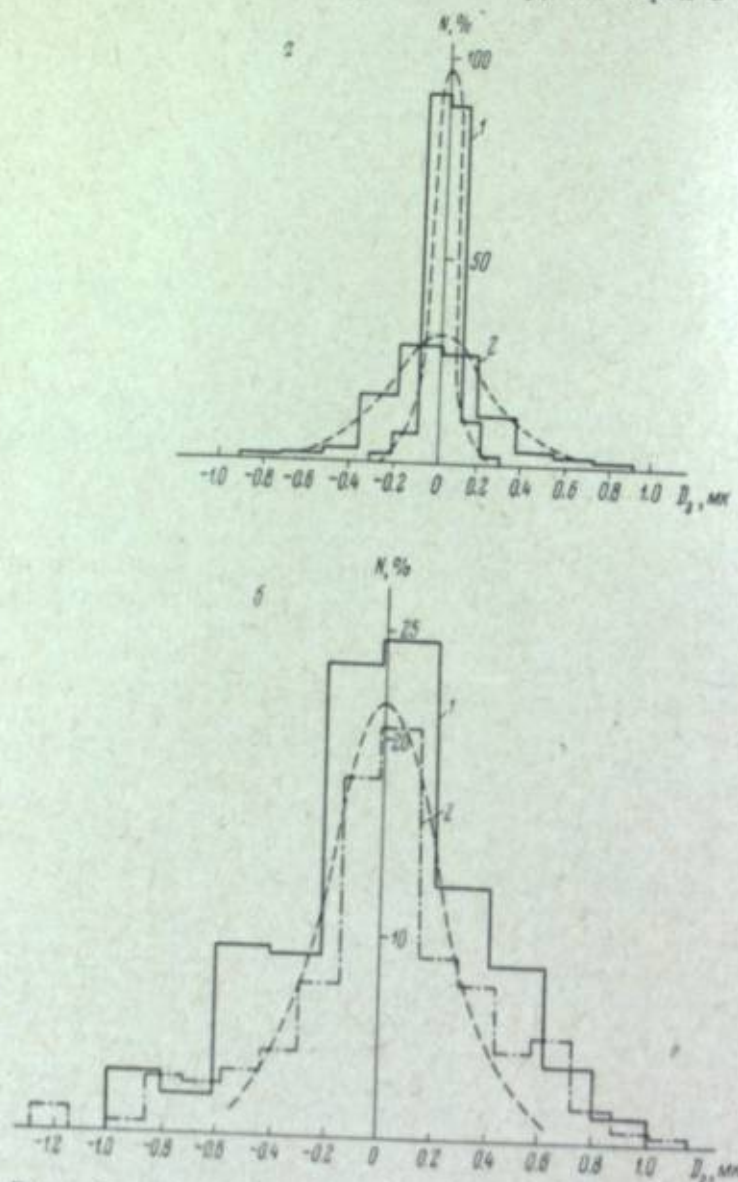


Рис. 1. Сопоставление визуальных и автоматических измерений для случая интегрального распределения вторых разностей в следах протонов с импульсом 19.6 Бэв/с.

а: 1 — визуальные измерения  $D_2$  — на длине 300 мк по данным 583 измерений; 2 — автоматические измерения  $D_2$  — на длине 400 мк по данным 348 измерений. б: 1 — визуальные измерения  $D_2$  — на длине 200 мк по данным 207 измерений; 2 — автоматические измерения  $D_2$  — на длине 1600 мк по данным 232 измерений.

40 мк (ЦТ), а другой раз — визуально (на различных ячейках). Видно, что условие  $D_{2, \text{крит}}^2 > 2\sigma$  ( $\sigma$  — дисперсия для суммарного шума) выполняется в первом случае при импульсах 1 Бэв/с на ячейке 400 мк и 5 Бэв/с на ячейке 1600 мк, а при визуальном измерении при импульсах  $< 1.5$  и  $> 7.0$  Бэв/с соответственно.

На рис. 2 показаны (и сопоставлены с гауссовыми кривыми) относительные флуктуации измеренных значений трех параметров, характеризующих ионизацию: числа сгустков  $N_B$ , наклона спектра разрывов по длинам  $g$  и полного числа разрывов  $N_F$ . Если учесть, что визуальные измерения дают статистический разброс  $\sigma = 0.8\sqrt{N}$ , то видно, что при счете сгустков и разрывов действие аппаратных шумов мало по сравнению со статистическими флуктуациями, но заметно возрастает при использовании в качестве меры ионизации средней длины разрыва. По-видимому, влияние аппаратных шумов на измерение длинных разрывов в случае

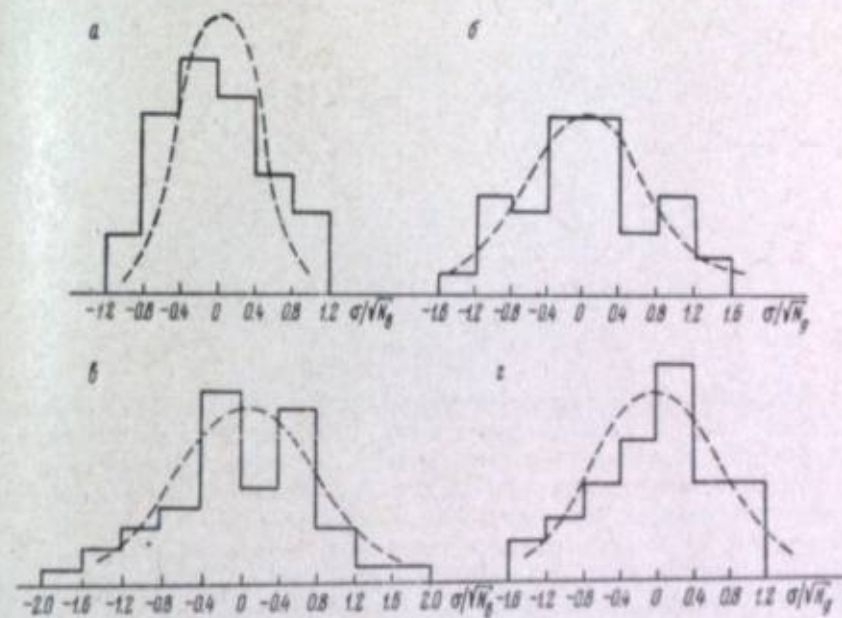


Рис. 2. Относительные флуктуации измеренных значений числа сгустков  $\Sigma N_B$  (а, б), наклона спектра разрывов  $g$  (в) по длинам и полного числа разрывов  $N_F$  (г).

Полуширина приведенных распределений следующая: а —  $\sigma = 0.51\sqrt{N_B}$ , 44 измерения; б —  $\sigma = 0.69\sqrt{N_g}$ , 38 измерений; в —  $\sigma = 0.81\sqrt{N_F}$ , 39 измерений; г —  $\sigma = 0.71\sqrt{N_g}$ , 26 измерений.

релятивистских следов ликвидирует выигрыш в информации, получаемый при измерении спектра разрывов по сравнению с простым счетом общего числа разрывов любой длины.

Мы сделали попытку применить нашу автоматическую аппаратуру к измерению следов в эмульсии, экспонированной в магнитном поле.<sup>1</sup> К сожалению, превышение полезного сигнала над фоновыми шумами оказалось в данном случае таким, что аппаратура находится на пределе своих возможностей и не может обеспечить надежных данных. При этом контрастность, т. е. относительная амплитуда полезного сигнала упала здесь в 10 раз по сравнению с обычными эмульсиями НИКФИ или Илфорд, в которых имеет место по крайней мере 10-кратный запас чувствительности.

В заключение авторы благодарят И. В. Штрайха и И. Я. Барита за интерес к работе, плодотворную дискуссию некоторых трудностей и содействие в проведении работы.

<sup>1</sup> Эти эмульсии были любезно представлены нам доктором Э. Даль-Иенсеном.



А. Е. ВОРОНКОВ, Г. Е. БЕЛОВИЦКИЙ,  
Л. Н. КОЛЕСНИКОВА, П. Н. КОМОЛОВ,  
В. С. МАРЕНКОВ, М. Ф. СОЛОВЬЕВА, Л. В. СУХОВ

### ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛЕДОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

#### Введение

За последние годы для повышения скорости и точности измерений параметров следов заряженных частиц, осуществляемых в ядерных фотоэмульсиях, большое значение приобрели полуавтоматические просмотровые и измерительные устройства. Разработано и изготовлено значительное количество установок такого рода [1—12]. Посредством особых устройств текущие координаты микроскопического столика преобразуются в цифровую форму. Иногда столики снабжаются моторными приводами. Электронные устройства с помощью перфорационной техники или техники магнитной записи преобразуют получаемую информацию в форму, удобную для последующего введения в цифровые вычислительные машины. В некоторых случаях необходимые вычисления выполняются в самом приборе и вывод данных осуществляется печатающими машинами в цифровой форме [4, 6, 8]. В полуавтоматических приборах роль оператора ограничивается просмотром фотоэмульсии и сопровождением следов вручную или с помощью моторных приводов, а все вычислительные работы выполняются без его участия.

В 1963 г. в лаборатории атомного ядра Физического института имени П. Н. Лебедева Академии наук СССР была спроектирована и изготовлена полуавтоматическая установка (рис. 1) для измерения геометрических параметров следов частиц в фотоэмульсии (длины пробегов и углов). Эта установка была использована для измерения энергетических спектров рассеянных нейтронов с начальной энергией 14 Мэв.

Установка состоит из микроскопа с устройством преобразования координатных движений в цифровую форму и электронно-механической части, которая осуществляет сопровождение следов с помощью моторов, выполняет ряд арифметических и других операций и выводит данные измерений на перфокарты.

#### 1. Микроскоп

Оптико-механическая часть установки собрана на базе обычного микроскопа (рис. 1). Координатный столик микроскопа представляет собой крестообразный стол с перемещением в двух взаимно перпендикулярных направлениях ( $X$ ,  $Y$ ). Перемещение стола происходит по стеклян-

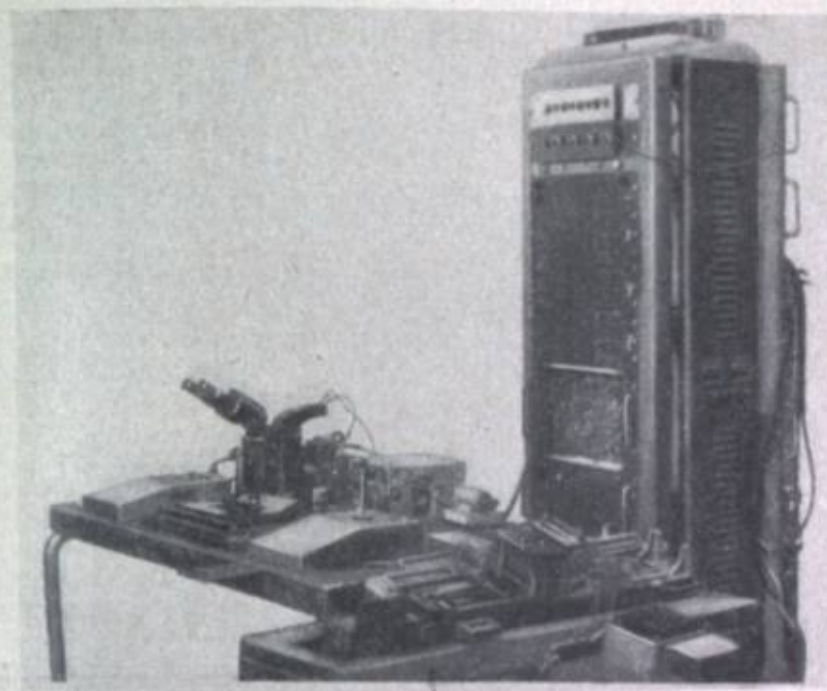


Рис. 1. Общий вид установки.

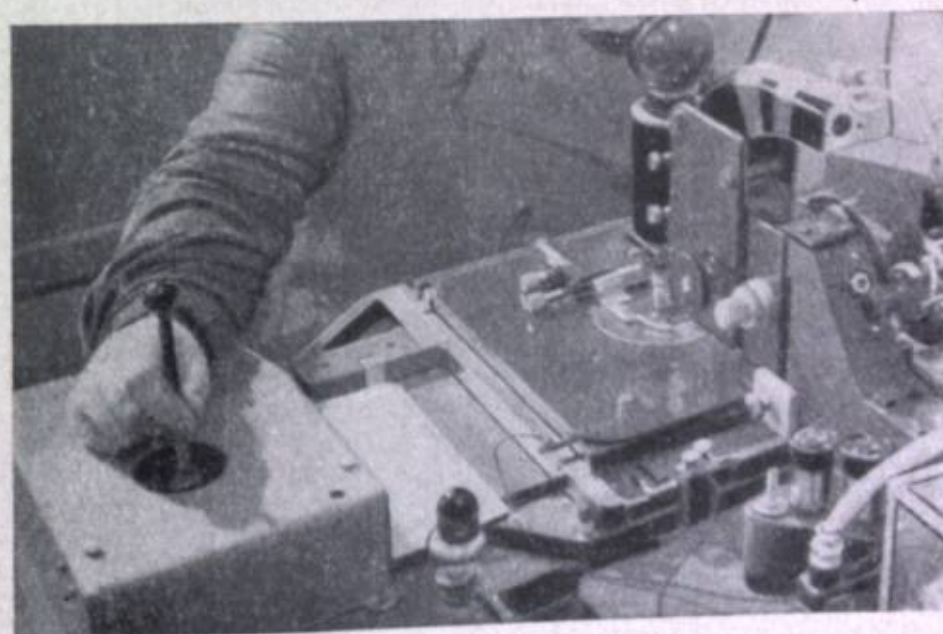


Рис. 2. Оптико-механическая часть установки.



ним направляющим на шариках. Стол снабжен шкалами с нулем и имеет установочный поворот на  $360^\circ$ , расположенный выше направляющих. Горизонтальное перемещение стола осуществляется с помощью шаговых двигателей с величиной шага по осям X и Y в 1 и 0,7 мм соответственно. Управление работой шаговых двигателей по величине и направлению скорости осуществляется специальным гониометрическим устройством, связанным с рычагом управления (рис. 2). Это устройство облегчает и ускоряет сопровождение следов. Возвратное движение стола происходит под действием грузов, размещенных под основной плитой стола и равных примерно 400 г.

Перемещение по оси Z осуществляется вручную. Оптическая измерительная по оси Z сделана путем установки на рукоятке микровинта дифференциального фотоэлектронного датчика импульсов, разработанного в ФИАНе [13]. Датчик связан с рукояткой микровинта шестеренчатой передачей с отношением 1:3, в результате чего деления по оси Z составляют 0,33 мкм. Для получения необходимой точности измерений Z необходимо проводить измерения глубины залегания кончика следа с фокусировкой зонда и измерением его сечения по поверхности фотоэлемента. Это позволяет избежать эффекта дифракции в диаметре фокусировки.

При измерении фотоэлементы используют объективы ФЭ с апертурой F.4 и окуляры (ФЭ) с одним из которых установлена планка (рис. 3) с измерительной шкалой. При измерении с помощью окуляра и планки (рис. 3) можно наблюдать изображение следа в увеличенном виде. В объективе окуляра имеются деления, которые должны быть измерены. Целесообразно использовать малую шкалу, нанесенную на объектив, для измерения малых размеров. Для измерения малых размеров необходимо для отбора следов использовать микрометрический винт. Для отбора следов необходимо использовать микрометрический винт, который позволяет измерять размеры следов с точностью до 0,1 мкм.

Описание механической части установки было опубликовано в журнале «Известия Академии наук СССР» в 1974 г. в № 10. Описание электрической части установки дано в журнале «Известия Академии наук СССР» в 1974 г. в № 10.

### 11.2. Описание электрической части установки

Электрическая часть установки описана в журнале «Известия Академии наук СССР» в 1974 г. в № 10. Описание электрической части установки дано в журнале «Известия Академии наук СССР» в 1974 г. в № 10.

Направление движения проекции рычага при сопровождении следа совмещается с направлением следа. При этом максимальные амплитуды напряжений будут увеличиваться с увеличением угла между вертикалью и направлением самого рычага. Каждое из напряжений поступает на вход усилителя, питающего фазу управления двухфазного двигателя типа ДГ-0.5А со встроенным тахогенератором, дающим возможность осуществить в системе усилитель—мотор сильную тахометрическую обратную связь. Благодаря этому скорости вращения двигателей с высокой степенью

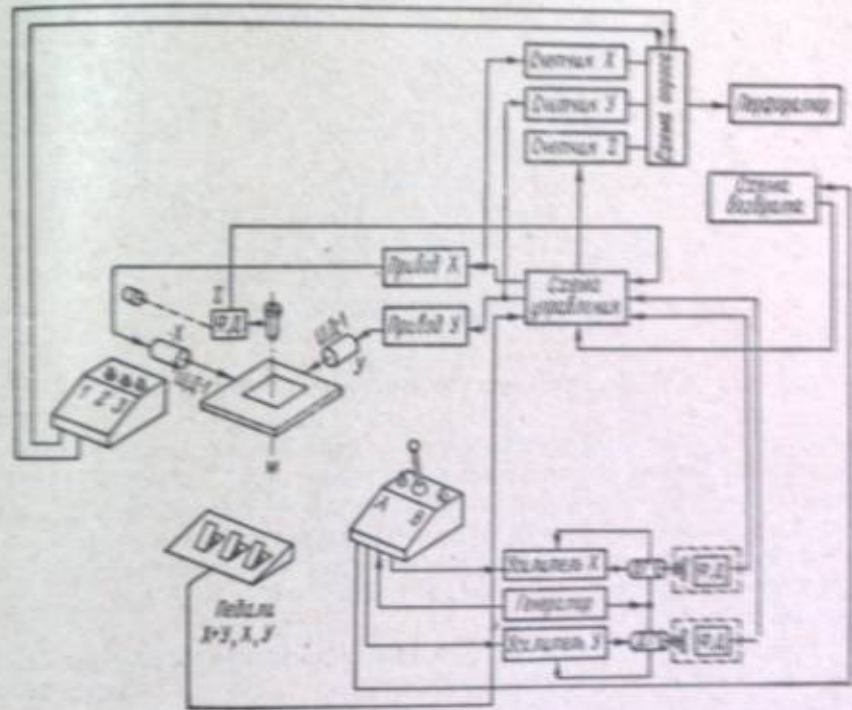


Рис. 4. Блок-схема установки.

точности повторяют входные напряжения усилителей вплоть до очень малых скоростей (до полов оборота в секунду). На осях моторов ДГ-0.5А укреплены легкие диски, которые вместе с фотодиодами, осветительными и соответствующими электронными схемами образуют фазочувствительные частотные датчики импульсов.

Описанное устройство, включающее усилитель, мотор и фотодатчик с выходной электронной схемой, фактически представляет собой генератор импульсов с очень большим линейным диапазоном изменения частоты. Два таких генератора, работающие совместно с вышеописанным управляющим электромеханическим устройством (рычаг управления), образуют комплексную двухканальную схему, генерирующую импульсы напряжения двух разных частот [11]. Одна из этих частот пропорциональна синусу, а другая косинусу определенного угла. Импульсы напряжения двух частот приводят в действие координатные шаговые двигатели типа ДШ-0.1, которые через безлюфтовые редукторы двигают стол микроскопа (по направлению движения рычага) со скоростью, пропорциональной наклону рычага. Одновременно эти частоты поступают в соответствующие двучные реверсивные счетчики X и Y с емкостью 2048 единиц в каждом.



Накопленные в счетчиках числа нажатием кнопки могут быть перенесены на перфокарты. Эти числа могут соответствовать как конечным, так и промежуточным точкам следа, в связи с чем прибор оборудован различными кнопками переноса. Система, состоящая из шаговых двигателей и счетчиков, по существу фиксирует расстояния, пройденные по осям  $X$  и  $Y$  координатным столиком и выраженные в числе шагов двигателя. Это позволяет легко осуществить автоматический возврат столика

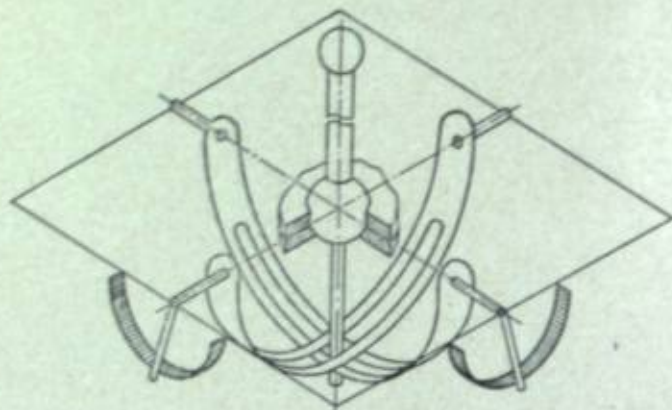


Рис. 5. Схема гониометрического устройства.

в исходное положение. Точность возврата столика наносится в пределах цены деления одного шара, которая составляет  $1 \text{ мк}$  по оси  $X$  и  $0.7 \text{ мк}$  по оси  $Y$ . (рис. 4). Скорость возврата составляет  $150 \text{ мк/сек.}$ , но легко может быть увеличена. Для удобства совмещения избранных мест следов с просветом в риске, установленной в середине поля зрения, прибор оборудован тремя педалями: для движения одновременно по  $X$  и  $Y$  и для движения по  $X$  и по  $Y$  отдельно.

В приборе используется перфоратор П-80-6, предназначенный для работы вручную от клавишей. Ввиду этого нами была осуществлена некоторая переделка перфоратора для автоматической работы с описываемым прибором. В эту переделку вошли отдельные добавления к электрической схеме перфоратора, входящие одновременно в электрическую схему всего устройства, а также небольшие механические добавления.

### III. Просмотр фотопластинок с помощью полуавтоматического устройства

Прибор был использован для измерения энергетических спектров рассеянных нейтронов, образующихся при взаимодействии нейтронов  $14 \text{ Мэв}$  с различными ядрами. Энергия нейтронов определялась посредством измерения пробега (энергии) протона отдачи и угла между следом протона отдачи и направлением первичного нейтрона. Для регистрации протонов отдачи использовались толстослойные фотопластинки НИКФИ типа К с толщиной слоя  $400 \text{ мк}$ . Пробеги протонов отдачи достигали  $1000 \text{ мк}$ , т. е. нескольких (5—6) полей зрения. В связи с этим была принята следующая методика поиска и измерения следов протонов отдачи.

С помощью кнопки «А», расположенной на кожухе рычага управления, наблюдатель фиксирует очередное поле зрения. В этом поле зрения ищется след протона, начинающийся в эмульсии и образующий углы не более  $15^\circ$  с направлением первичного пучка нейтронов (в горизонтальной и вертикальной плоскостях). Обнаружив такой след, наблюдатель включает ножную педаль и рычагом управления перемещает след со скоростью

$50\text{--}100 \text{ мк/сек.}$  до его конца. Если протон отдачи вылетает из эмульсии, то нажатием на кнопку возврата «В», также расположенную на кожухе рычага управления, столик возвращается в исходное положение. Если протон отдачи останавливается в эмульсии, то выполняется измерение следа. Для этого конец следа устанавливается в зазор в середине поля зрения (см. рис. 2) и кнопкой № 1 счетчики координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  переводятся в нулевое положение. Затем след перемещается, и на расстоянии  $80 \text{ мк}$  от его начала снова устанавливается в зазор. Нажатием кнопки № 2 на перфокарту заносятся длины проекций на оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  измеренного участка следа. Далее в зазор устанавливается начало следа, и нажатием кнопки № 3 на перфокарту заносятся аналогичные данные этого участка следа. На этом измерение следа заканчивается.

Как можно видеть, при таком методе измерения косинус пространственного угла между протоном отдачи и нейтроном вычисляется по начальному участку следа длиной  $80 \text{ мк}$ . При этом ошибка в определении энергии нейтрона вследствие изменения угла между нейтроном и следом протона отдачи из-за многократного кулоновского рассеяния протона отдачи будет минимальной.

Для продолжения измерений столик нажатием кнопки «В» устанавливается в исходное положение. Сначала продолжается поиск и измерение новых следов в данном поле зрения, а затем начинается просмотр следующего поля зрения и т. д.

Обычно при измерениях след разбивается только на два участка и данные о каждом из них заносятся на одну строку перфокарты. Если, однако, протон испытал однократное рассеяние на большой угол, то измерение полной длины следа производится не на двух, а на трех участках.

Максимальная скорость сопровождения следа выбрана равной  $120 \text{ мк/сек.}$  Практика эксплуатации прибора показала, что после некоторого периода освоения оператор не испытывает трудностей при сопровождении со значительно большей скоростью, вплоть до  $200\text{--}250 \text{ мк/сек.}$

### IV. Обработка перфокарт на электронно-вычислительной машине

Расчет энергетического спектра нейтронов по измеренным следам протонов отдачи, данные о которых занесены на перфокарты, производится по специальной программе на электронно-вычислительной машине. Программа может выдавать в печать:

- 1) энергетический спектр нейтронов с поправками на сечение рассеяния нейтрона на протоне и на вероятность вылета протона данного пробега  $R$  из эмульсии;
- 2) энергетический спектр нейтронов без поправок (число нейтронов в заданном интервале энергий  $\Delta E_n$ );
- 3) сумму координат  $X$ ,  $Y$  или  $Z$  определенного знака (для проверки асимметрии распределения протонов отдачи в эмульсии).

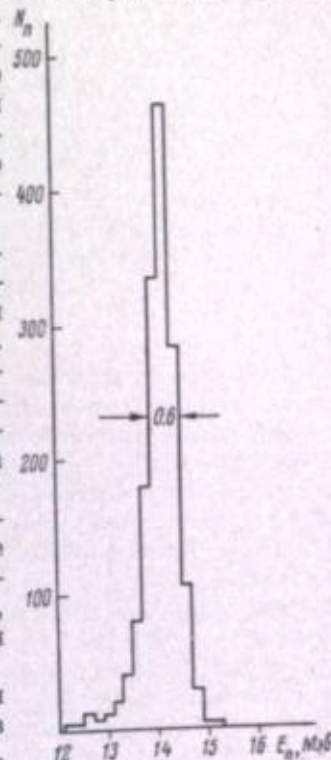


Рис. 6. Энергетический спектр нейтронов с энергией  $14 \text{ Мэв}$ .



Данные о знаке координат, виде печати, количестве выдаваемых на печать энергетических интервалов и об изменении параметров счета (углов ограничения, коэффициента усадки эмульсии и т. д.) образуют матрицу  $\alpha_{ij}$ . Все перфокарты, относящиеся к данному спектру, разбиваются на  $N$  массивов по  $\geq 25$  перфокарт в каждом. Данные по всем массивам суммируются машиной.

В качестве иллюстрации на рис. 6 приведен энергетический спектр первичного пучка нейтронов с энергией 14.2 Мэв, измеренный с помощью описанного полуавтоматического устройства. При отборе следов протонов в угле  $\pm 15^\circ$  по отношению к направлению первичных нейтронов ширина кривой на половине высоты равна 0.6 Мэв. Таким образом, относительная ошибка  $\Delta E/E$  при измерении энергии нейтронов 14 Мэв составляет примерно 4%. Если отбирать следы протонов в угле  $\pm 10^\circ$ , то  $\Delta E/E$  составит примерно 3%. Энергетическое разрешение, полученное в этих измерениях, не уступает разрешению, достигнутому при измерении спектра нейтронов по методу времени пролета.

#### V. Заключение

На основании годового опыта работы на полуавтоматической установке можно сделать следующие выводы. Установка позволяет существенно увеличить производительность труда наблюдателя. Это связано с тем, что, во-первых, наблюдатель освобожден от записи измеряемых величин (длин, высот, углов), во-вторых, перемещение следа с помощью одного рычага управления заметно увеличивает скорость просмотра и измерения длинных следов, в-третьих, наблюдатель может вести измерения без отрыва глаз от окуляра. Все это позволяет вести просмотр фотоэмульсии при наличии большого числа следов в поле зрения без опасения потери измеряемых следов (чем повышается эффективность просмотра). Расчет спектра нейтронов с введением всех поправок, осуществляемый на электронно-вычислительной машине, также дает заметную экономию времени. В целом использование полуавтоматического устройства для просмотра фотоэмульсии и измерения пробегов протонов отдачи повышает производительность труда наблюдателя более чем в 5–6 раз и повышает точность измерения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Баркас, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 317.
- [2] Г. Р. Гольбек, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 327.
- [3] Р. Уайт, А. Дэйв, С. Фриден, Г. Корнблюм, Дж. Маккол, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 340.
- [4] М. Дэфф, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 348.
- [5] Ф. В. О'Делл, М. М. Шапиро, Б. Сталлер, Р. Уоллес, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 357.
- [6] Ч. Гальтсери, А. Манфредини, В. Ресса, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 364.
- [7] Э. Г. Мелник, Ядерная фотография, Изд. АН СССР, М., 1962, 374.
- [8] W. H. Barkas, H. H. Heckman, J. G. Hodges, J. G. Salvador, *Kontakularphotographie IV*, München, 1963, 416.
- [9] P. W. Benjamin, G. S. Nickolls, AWRE Report No NR 5/63.
- [10] K. Bruner, E. Bössle, Proc. V Intern. Conf. Nucl. Photogr., ed. CERN, 1965, V. 2, VII-20.
- [11] И. В. Штрапх, А. Е. Воронков, «Устройство, осуществляющее движение по двум координатам», изд. ЦИТЭИ, серия «Передовой научно-техн. и производств. опыт», вып. 9, 1961.
- [12] Б. Н. Моисеев, Л. Л. Лихтенбаум, В. И. Лидевич, В. А. Милешки, О. П. Федотов, Автоматическая установка ИТЭФ для обмера снимков пузырьковых камер, Изд. ИТЭФ, М., 1962.
- [13] Г. Е. Беловицкий, Л. Н. Кораблев, Л. В. Сухов, И. В. Штрапх, Приб. и техн. экспер., № 2, 1959.

А. С. АССОВСКАЯ, Ф. Г. ЛЕНЕХИН

### ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ ПО СЧЕТУ СГУСТКОВ И СПЕКТРУ ПРОСВЕТОВ НА СЛЕДАХ БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЯХ

#### 1. Введение

Измерение относительной ионизирующей способности быстрых частиц в ядерных фотоэмульсиях и пузырьковых камерах дает возможность идентификации быстрых частиц при одновременном измерении многократного рассеяния или кривизны в магнитном поле [1]. Задача оценки скорости однозарядной частицы по измерению ионизационного параметра ее следа в фотоэмульсии представляет собой частный случай выделения первичной информации по принятому сообщению. Такой подход к задаче уже дал возможность получить практически полезные методы оценки относительных потерь энергии однозарядных частиц по счету сгустков в широком интервале скоростей [2].

Хорошо известно [1, 3, 4, 5], что средняя или вероятная длина просветов является гораздо лучшим во многих отношениях ионизационным параметром, чем плотность сгустков. Данная работа содержит результаты исследования возможностей оценки скорости быстрых однозарядных частиц по спектру длин просветов на их следах в ядерных фотоэмульсиях

#### 2. Извлечение полной информации из структуры следа

Пусть дан участок следа, на котором потери энергии частицей, а следовательно, и все ионизационные параметры постоянны. Информация о данной величине потеря энергии в системе связи с частотной модуляцией представляет собой монохроматический сигнал частоты  $\nu$ . Вследствие статистического характера преобразования информации в сообщении, оно является суперпозицией всех возможных частот, ограниченных сверху величиной  $\nu_{\max} = 1/d$ , где  $d$  — средний диаметр проявленного ионизационного следа, снизу — чувствительностью эмульсии к следам с минимальной ионизацией  $\nu_{\min}$ .

Из теоремы Котельникова известно, что вид функции, не содержащей компонент с частотами выше какой-то определенной частоты  $\nu_{\max}$ , может быть восстановлен полностью, если известны значения этой функции через расстояния  $1/2\nu_{\max}$ . В нашем случае это означает, что для извлечения полной информации о структуре следа необходимо сделать отсчеты через расстояния  $d/2$ . Надобность в непрерывном объеме информации отпадает. Достаточно вести развертку следа через  $d/2$  и наличие сгустка при этом регистрировать как «1», а просвет как «0». Тогда последовательность «шуй» и «единиц» содержит всю информацию, какая только вообще



имеется в структуре следа.<sup>1</sup> Легко показать, что все обычные параметры, такие, как плотность сгустков, сумма длин просветов, число просветов или сгустков с длиной больше заданной получаются из обработки данной последовательности нулей и единиц без дополнительных измерений.

Далее можно убедиться, что наше сообщение в виде последовательности слов двухбуквенного алфавита является эргодическим, так как влияние предшествующих букв на последующие простирается на конечное их число. Нас интересует количество информации в эргодическом сообщении. Это количество измеряется суммой натуральных логарифмов величин, обратных вероятностям появления  $P_i$  каждого слова в сообщении, так что информация

$$I = \sum \ln 1/P_i.$$

В случае быстрых частиц и малой чувствительности априори известно, что длины сгустков не отличаются от среднего диаметра проявленного зерна  $d$ . Таким образом, информация, содержащаяся в распределении сгустков, по длинам очень мала и почти вся информация о структуре следа содержится в спектре просветов.

Увеличение количества информации об ионизирующей способности частицы эквивалентно уменьшению ошибки в оценке относительной ионизации и представляет практический интерес. Распределение просветов по длинам подчиняется экспоненциальному закону и поэтому полная информация  $I$ , содержащаяся в спектре просветов, с точностью до постоянного множителя есть константа этого распределения, или  $I \sim \Gamma$ , где  $\Gamma$  — наиболее вероятная длина просвета. В соответствии с предыдущим надо ожидать, что стандартная ошибка  $I$  или  $\Gamma$  будет меньше, чем ошибка оценки ионизирующей способности частицы по прямому счету сгустков на той же длине следа.

Если спектр просветов промерен тем или иным способом, то представляет интерес практическая оценка величины  $(\frac{\Delta I}{I})/0.82/\sqrt{N}$ , имеющей простой смысл.

Наилучшее значение  $\Gamma$ , совместимое с данным набором экспериментальных значений числа просветов  $N_i$  с длиной  $\geq l_i$  при изменении  $l_i$  через 0.5 мк для различного числа каналов, а также оценка стандартного отклонения  $S_\Gamma$  получены применением метода наименьших квадратов. Ввиду громоздкости формул, реализующих этот метод, и большого числа массивов, подлежащих обсчету, все вычисления выполнялись на электронной вычислительной машине «Минск-1».

### 3. Экспериментальное определение ошибок ионизационных параметров, получаемых счетом сгустков и по спектру просветов на одних и тех же следах

Воспроизводимость результатов группы из четырех наблюдателей при счете сгустков проверена на одном и том же следе со средней плотностью сгустков примерно  $210 \text{ мм}^{-1}$  на различных интервалах. Результаты представлены в табл. 1.

Отсюда можно сделать вывод, что счет сгустков является достаточно объективным параметром, а воспроизводимости индивидуальные и групповые одинаковы и равны при единичном измерении величине  $0.20/\sqrt{N}$ . Статистические ошибки, конечно, больше и нами они также были определены на 10 см следа. Результаты представлены в табл. 2.

<sup>1</sup> Ширина следа не рассматривается, так как она представляет сигнал, модулированный по амплитуде, а не по частоте.

Если ошибки являются независимыми, то общая ошибка статистическая и воспроизводимости действительно получается  $\sim 0.82/\sqrt{N}$ . С этой

Таблица 1

Длина интервала, мм	Общее число измерений	Стандартное отклонение измерим.
		$\sqrt{\text{Число сгустков}}$
1	71	0.20
5	35	0.20
10	9	0.21
27	2	0.25
56	2	0.13

Таблица 2

Длина интервала, мм	Число участков	$\Sigma$	$\Sigma_{\text{дел.}}$	$\frac{\Sigma_{\text{дел.}}}{\sqrt{N}}$
1	100	209	11.6	0.80
2	50	417	15.7	0.77
5	20	1043	22.3	0.70
10	10	2087	28.5	0.63

величиной мы будем сравнивать ошибки оценки ионизационного параметра по спектру просветов.

Измерения проведены на длине следа в 10 мм, через 1 мм, при цене деления бинокулярной насадки 0.055 мк. Спектр просветов сосчитан в каналах, отличающихся по ширине на 0.5 мк. Результаты приведены в следующей табл. 3.

Таблица 3

Длина интервала, мм	Номер интервала	$\Gamma$	$S_\Gamma$	$(\frac{\Delta I}{I})/0.82/\sqrt{N}$	Число каналов
2	1	0.25191	0.00492	0.73	10
2	2	0.25582	0.00602	0.74	10
2	3	0.25198	0.00532	0.75	10
2	4	0.25200	0.00246	0.76	10
2	5	0.24747	0.00339	0.76	10
5	1	0.25757	0.00149	0.46	12
5	2	0.25615	0.00191	0.46	12
10	1	0.25687	0.00131	0.45	16

Величина  $\Gamma$  может быть получена и графически (см. рисунок), но при этом нет представления об ошибках и точность оценки слишком мала. Отметим, что во всех известных до сих пор работах [1, 3]  $\Gamma$  находилось именно графически. Как из рисунка, так и из табл. 3 видно, что параметр  $\Gamma$  действительно имеет относительную ошибку примерно в 2 раза меньше, чем при непосредственном счете сгустков.

### 4. Некоторые нерешенные вопросы использования полной информации об ионизирующей способности частиц

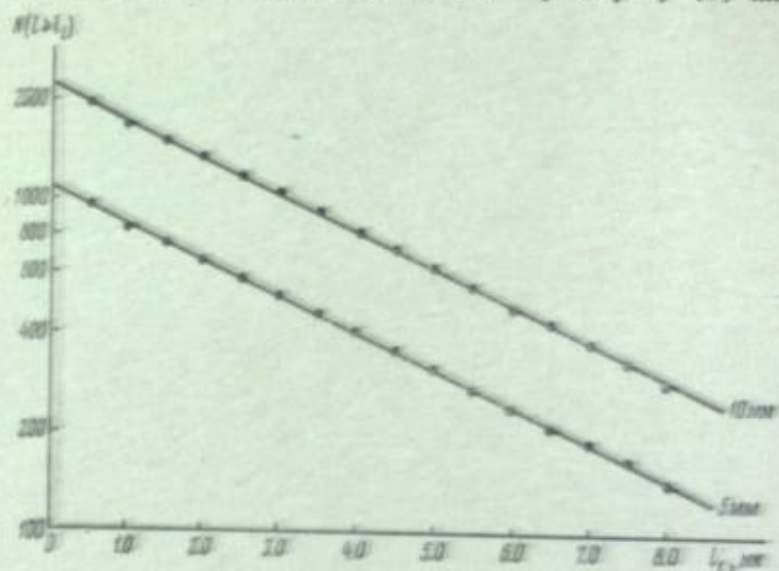
Существенно, что удалось предсказать и практически доказать заметное уменьшение ошибки при использовании параметра  $\Gamma$  в сравнении со счетом сгустков. Однако большая трудоемкость визуальных измерений препятствует широкому распространению этого метода. Необходима, конечно, автоматизация не только обработки, но и съема информации. Можно ввести запись координат границ просветов и сгустков наблюдателем непосредственно на перфоленту в виде, пригодном для ввода в электронную вычислительную машину. Это осуществляется на микроскопах МИРЭ и МИГЭ, имеющих вывод на перфоратор. Скорость измерений повышается примерно в 4 раза, достигая 2 мм/час при 200 сгустках на миллиметр.

Существен при этом порядок занесения данных. Достаточно небольшой ошибки, чтобы все результаты оказались неверными. При грубых ошибках они выявляются легко, но если где-то в конце большого массива наблюдатель пропустит одно число, результат будет искажен, хотя мы



этого определить не сможем. Необходимы достаточно эффективные методы контроля и выявления ошибок наблюдателя в процессе съема информации.

Другой путь состоит в том, чтобы полностью автоматизировать процесс съема информации, используя телевизионную развертку [6] или фото-



Спектр просветов, измеренный визуально на следе протона с энергией 3 Бэв.

Прямые проведены по расчетным параметрам  $\Gamma$  на длинах 10 мкм ( $\Gamma = 0,2567$ ,  $S_1 = 0,00131$ ) и 5 мкм ( $\Gamma = 0,2577$ ,  $S_1 = 0,00149$ ).

умножитель [7]. Однако при этом надо иметь доказательство того, что автомат адекватен наблюдателю не только по абсолютным значениям ионизационных параметров, но и по их статистическим свойствам.

Работа по сопоставлению статистических свойств параметра  $\Gamma$ , получаемого на визуальных и автоматических измерениях, ведется нами в настоящее время.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дж. К. Л. Юан, Ву Цзянь-си. Принципы и методы регистрации элементарных частиц. ИЛ, М., 1963.
- [2] Ф. Г. Лепетих, Приб. и техн. эксперим., № 5, 76, 1964.
- [3] С. Пауэлл, П. Фаулер, Д. Перкинс. Исследование элементарных частиц фотографическим методом. ИЛ, М., 1962.
- [4] D. I. Holtzinger, Nuovo Cimento, 17, 928, 1960.
- [5] B. Jongejans, Nuovo Cimento, 16, 625, 1960.
- [6] А. Е. Воронков, М. Ф. Соловьева, Л. В. Сухан, М. И. Гретькова, М. М. Ферманский, Приб. и техн. эксперим., № 4, 75, 1964.
- [7] L. van Rossum, Suppl. Nuovo Cimento, 11, 212, 1954.

Н. В. СКИРДА

### К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ ЧАСТИЦ В ЯДЕРНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ ПУТЕМ СЧЕТА СГУСТКОВ

Наиболее естественной и фундаментальной мерой относительной ионизации ( $i^* = I/I_{\text{min}}$ ) или скорости  $\beta$  однозарядных частиц в ядерных эмульсиях является плотность  $g$  или нормированная плотность зерен  $g^* = g/g_{\text{min}}$  в их следах. В электронно-чувствительных эмульсиях она оказывается чувствительной к изменению скорости частиц вплоть до значений  $\beta = 0.1$  [1–3], причем наибольшая ее чувствительность к изменению  $i^*$  или  $\beta$  приходится на область ионизаций, в которой другие ионизационные характеристики следа либо проходят через широкий максимум, либо испытывают насыщение. Кроме того, в широком интервале значений  $\beta$  плотность зерен меняется пропорционально  $1/\beta^2$ , т. е. пропорционально ограниченному потерям энергии частиц на ионизацию и возбуждение атомов, а  $g^*$  пропорционально  $i^*$ . Согласно данным работ [4–6], линейное соответствие между нормированной плотностью зерен  $g^*$  и относительными потерями энергии частиц на ионизацию  $i^*$  в эмульсии Илфорд G-5 сохраняется в интервале значений  $i^*$  от 1 до  $\sim 10$ , что соответствует значениям  $\beta > 0.25$  и энергиям протонов  $E_p > 30$  Мэв. В эмульсии БР-НИКФИ этот интервал более узок (из-за большей чувствительности эмульсии), а в эмульсиях Илфорд K-5, L-4 и БМ-НИКФИ — значительно более широк. Нормированная плотность зерен в указанной области ионизаций практически не зависит от степени проявления эмульсии, что делает ее особенно ценной мерой ионизации однозарядных частиц.

Однако наряду с перечисленными достоинствами плотность зерен как мера ионизации обладает одним существенным недостатком: в эмульсиях, чувствительных к минимальной ионизации, она не поддается строго количественной оценке путем обычного (визуального) счета. Сведения о ней в таких эмульсиях приходится получать косвенно, посредством измерения других характеристик следа, поддающихся объективной количественной оценке. В частности, в области ионизаций, где начинает проявляться эффект насыщения плотности зерен, истинное значение  $g$  в следе частицы, как правило, находят из данных измерений скважности следа или средней длины сгустков [7]. В области меньших значений  $i^*$  наилучшей мерой  $g$  является средняя длина промежутков, которая может быть найдена по крайней мере пятью различными способами.

Наряду с указанной ионизационной характеристикой следа в качестве меры истинной плотности зерен в области малых значений  $i^*$  часто используют плотность сгустков зерен в следе частиц. Плотность сгустков  $B$  как



мера плотности зерен или ионизации представляет собой весьма привлекательный параметр в силу двух обстоятельств: 1) простоты и быстроты счета и 2) высокой степени его воспроизводимости. К тому же, плотность сгустков в области малых ионизаций, вне всякого сомнения, является объективной ионизационной характеристикой следа. Действительно, в следах частиц малой ионизирующей способности средняя длина просветов оказывается довольно большой, поэтому небольшие вариации в размере проявленных зерен в пределах эмульсионного слоя, а также оптических условий наблюдения мало сказываются на величине  $B$ .<sup>1</sup> Между тем, существует мнение [8], что в крупнозернистых электронно-чувствительных эмульсиях отечественного производства плотность сгустков не может служить достаточно точной мерой  $g$  даже в области минимума ионизационной кривой. В работе [9], напротив, утверждается, что параметр  $B$  является надежной мерой плотности зерен в весьма широком интервале значений  $i^*$  (простирающемся от  $i^*=1$  до значений  $i^*$ , при которых начинает сказываться эффект насыщения плотности зерен), и предлагается формула для перехода от измеренных плотностей сгустков, отвечающих указанным значениям  $i^*$ , к соответствующим им плотностям зерен. Таким образом, налицо две прямо противоположные оценки достоинств плотности сгустков как меры плотности зерен в следе частицы. Цель настоящей работы состоит в выяснении действительных границ, в пределах которых плотность сгустков может считаться достаточно точной мерой плотности зерен и, следовательно, ионизации однозарядных частиц, а также в установлении факторов, определяющих эти границы.

Связь между плотностью сгустков и плотностью зерен в следе частицы, как известно, математически может быть представлена соотношением [7, 10]

$$B = ge^{-\alpha g}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — среднее значение наименьших расстояний между центрами изображения пар зерен в следе, при которых они еще воспринимаются как отдельные, разделенные промежутками объекты. Величина  $\alpha$  определяется в основном размером проявленных зерен и в меньшей степени разрешающей силой оптического прибора и субъективными особенностями наблюдателя. От  $g$  величина  $\alpha$  не зависит. Методы определения  $\alpha$  подробно описаны в [7].

Графически зависимость  $B$  от  $g$  для двух стоек эмульсии Илфорд G-5 представлена на рисунке. Из этого рисунка видно, что плотность сгустков вследствие двузначной зависимости от  $g$  проходит через широкий максимум, который, например, в стойке с  $\alpha=0.67$  мк (кривые 1, 2) простирается от  $i^*\approx 3$  до  $i^*\approx 8$ . В области максимума кривой плотность сгустков, естественно, не может считаться удовлетворительной мерой плотности зерен, так как вследствие малой чувствительности  $B$  к изменению  $g$  любое небольшое отклонение  $B$  от ожидаемого значения плотности сгустков (из-за статистических или систематических погрешностей измерения) будет приводить к значительному отклонению оценки плотности зерен от ее истинного значения.

Рассмотрим количественно статистические флуктуации значений  $g$ , получаемых из данных счета только одних сгустков. В области не очень

<sup>1</sup> Абсолютное значение плотности сгустков на следе одной и той же частицы зависит от разрешающей способности оптического прибора и свойств глаза наблюдателя. Поэтому на практике предпочитают пользоваться нормированными значениями  $B$ . Нормирование значений  $B$  позволяет избавиться также от неравномерностей проявления эмульсий.

больших значений  $i^*$  относительная стандартная ошибка  $g$  при определении  $g$  из (1) может быть аппроксимирована [10] соотношением

$$\frac{\Delta g}{g} \approx \frac{1}{\sqrt{N_B}} \cdot \frac{\alpha g}{1 - \alpha g} = \frac{A(\alpha g)}{\sqrt{N_B}}, \quad (2)$$

где  $N_B$  — число сосчитанных сгустков на данном отрезке следа. Из этого соотношения следует, что  $\Delta g/g$  является функцией произведения  $\alpha g$  и что  $\Delta g/g$  при некотором значении  $\alpha g$ , которое мы обозначим  $(\alpha g)_{кр}$ , начинает заметно превосходить множитель  $1/\sqrt{N_B}$ . Конкретное представление о поведении коэффициента  $A(\alpha g)$  в зависимости от величин  $i^*$ ,  $\alpha$  и  $g_{min}$  можно получить из табл. 1, в которой помещены данные расчетов  $B$  и  $A(\alpha g)$  для трех партий эмульсий НИКФИ; эти расчеты проведены для некоторых типичных значений  $\alpha$  и  $g_{min}$  стоек, причем в ходе вычислений предполагалось, что  $g/g_{min} = I/I_{min}$ .

Таблица 1

Значения  $B$  и  $A(\alpha g)$  как функция  $i^*$ ,  $g_{min}$  и  $\alpha$  в эмульсиях БМ-НИКФИ и БР

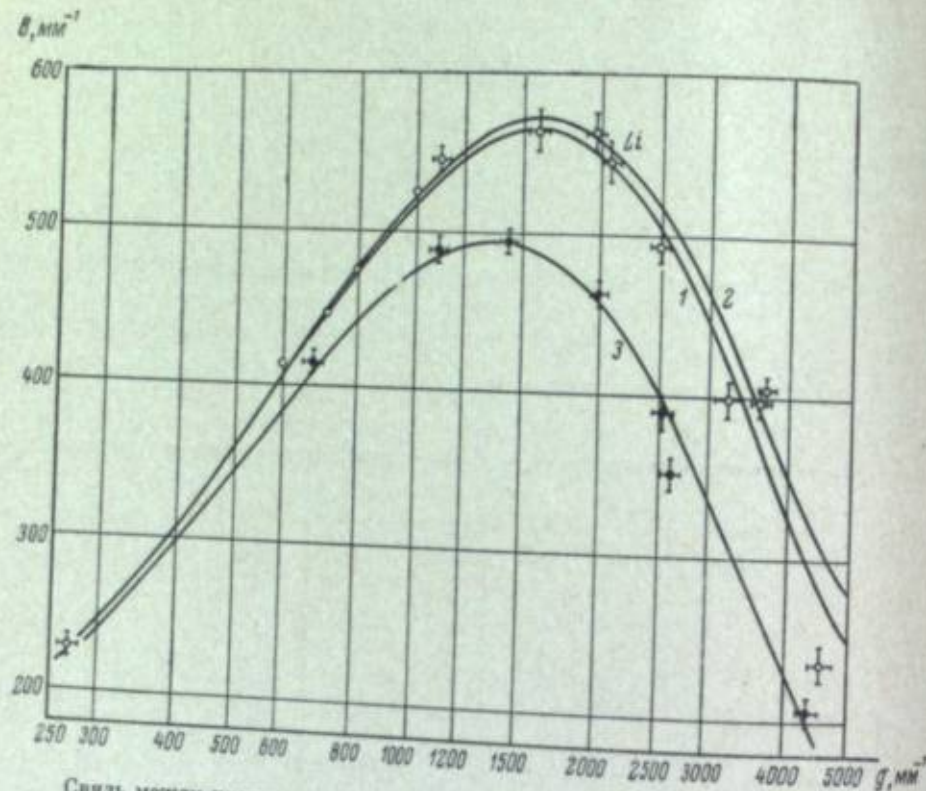
№ п/п	$i^* = \frac{I}{I_{min}}$	Тип БМ $\alpha g_{min} = 0.40 \cdot 0.35$			Тип БР, стойка 1 $\alpha g_{min} = 0.60 \cdot 0.30$			Тип БР, стойка 2 $\alpha g_{min} = 0.90 \cdot 0.30$		
		$g$	$B$	$A(\alpha g)$	$g$	$B$	$A(\alpha g)$	$g$	$B$	$A(\alpha g)$
1	1.00	0.35	0.30	1.01	0.30	0.25	1.02	0.30	0.23	1.04
2	1.20	0.42	0.35	1.02	0.36	0.29	1.03	0.36	0.26	1.07
3	1.40	0.49	0.40	1.02	0.42	0.33	1.04	0.42	0.29	1.10
4	1.60	0.56	0.45	1.03	0.48	0.36	1.05	0.48	0.31	1.14
5	1.80	0.63	0.49	1.04	0.54	0.39	1.07	0.54	0.33	1.20
6	2.00	0.70	0.53	1.05	0.60	0.42	1.09	0.60	0.35	1.27
7	2.50	0.88	0.62	1.08	0.75	0.48	1.16	0.75	0.38	1.57
8	3.00	1.05	0.69	1.13	0.90	0.52	1.27	0.90	0.40	2.34
9	4.00	1.40	0.80	1.30	1.20	0.58	1.74	1.20	0.41	—
10	4.50	1.58	0.84	1.44	1.35	0.60	2.34	1.35	0.40	—
11	5.00	1.75	0.87	1.66	1.50	0.61	4.07	1.50	0.39	—
12	6.00	2.10	0.91	2.70	1.80	0.61	—	1.80	0.36	—
13	7.00	2.45	0.92	18.75	2.10	0.60	—	2.10	0.32	—
14	9.00	3.15	0.89	—	—	—	—	—	—	—
15	11.00	3.85	0.83	—	—	—	—	—	—	—
16	13.00	4.55	0.74	—	—	—	—	—	—	—

Из табл. 1 следует, что в каждой стойке  $A(\alpha g)$  увеличивается с ростом  $i^*$  или (что то же самое)  $\alpha g$ , причем величина  $i^*$ , при которой  $A(\alpha g)$  все еще не превышает некоторое практически приемлемое значение (например, 1, 3), оказывается функцией произведения  $\alpha g_{min}$  или, иными словами, чувствительности эмульсий в ионизационном минимуме и ее степени проявления. В случае, например, партий эмульсий, представленных в табл. 1, увеличение  $\alpha g_{min}$  от 0.14 до 0.27 (т. е. в 2 раза) уменьшает рабочую область метода от  $\Delta i^*=3.0$  до  $\Delta i^*=1.2$ , т. е. почти втрое (из-за смещения максимума кривой  $B=f(g)$  в область меньших значений  $i^*$ ). Таким образом, область значений  $i^*$ , в которой плотность сгустков может считаться приемлемой мерой плотности зерен (ионизации), в конечном счете определяется величинами произведений  $\alpha g$  и  $\alpha g_{min}$ ; произведение  $\alpha g$  является мерой  $\Delta g/g$ , а произведение  $\alpha g_{min}$  определяет протяженность области ионизаций, в которой  $A(\alpha g)$  равно или меньше некоторого приемлемого значения  $A(\alpha g)_{пр}$ . Если за приемлемое значение  $A(\alpha g)$  принять величину  $A(\alpha g)_{пр}=1.3$ , то  $(\alpha g)_{пр}$  оказывается равным  $\sim 0.55$ . При значениях



$ag > 0.55$  счет сгустков не в состоянии обеспечить разумную точность результатов и должен быть заменен другим методом.

Что касается влияния произведения  $ag_{\min}$  на  $\Delta i^*$ , то, как это видно из табл. 1, увеличение  $ag_{\min}$  приводит к существенному уменьшению  $\Delta i^*$ . Поэтому чтобы на практике иметь по возможности более широкий интервал измеримых значений  $i^*$  (путем счета сгустков), значение  $ag_{\min}$  следует поддерживать на минимально возможном уровне. В случае эмульсий с большими значениями  $ag_{\min}$  (в условиях нормального проявления) на-



Связь между плотностью сгустков и плотностью зерен в следах частиц, зарегистрированных в эмульсии Ильффорд G-5.  
Кривые 1 и 2 — стопка I ( $\alpha=0.65$  мк), кривая 3 — стопка II ( $\alpha=0.76$  мк) [10].

более простой метод уменьшения произведения  $ag_{\min}$  состоит в недопроявлении эмульсии, что приводит к уменьшению как величины  $\alpha$ , так и величины  $g_{\min}$ ; кроме того, оно благотворно сказывается на дискриминирующей способности эмульсии в области больших значений  $i^*$ .

Следует особо подчеркнуть, что существенное недопроявление является необходимой предпосылкой для успешного измерения  $g$  методом счета сгустков в отечественных эмульсиях, так как вследствие неоправданно высокой чувствительности отечественных эмульсий к минимальной ионизации нормальное проявление приводит к большим значениям  $ag_{\min}$  и, следовательно, к сильному сужению области измеримых ионизаций. Избежать этого сужения позволяет именно недопроявление. В силу последнего обстоятельства трудно согласиться с мнением, что в отечественных эмульсиях, в частности в эмульсии БР, невозможна точная оценка плотности зерен по плотности сгустков при любых малых значениях  $i^*$  [8]. В действительности точная оценка  $g$  в области малых значений  $i^*$  оказывается затруднительной лишь в случае перепроявленной эмульсии типа БР. Вместе с тем с авторами [8] можно согласиться, что при очень больших зна-

чениях  $ag (> 0.55)$  лучшей мерой плотности зерен несомненно является параметр  $l$  (средняя длина разрывов в следе частицы), так как стандартная ошибка  $\Delta g/g$  при определении  $g$  из  $l$  оказывается равной  $1/\sqrt{N}$ , где  $N$  — число измеренных промежутков, а сама величина  $l$  (в противоположность параметру  $B$ ) оказывается совершенно нечувствительной к любым погрешностям определения  $\alpha$  ( $l$  не зависит от  $\alpha$ ).

Не менее трудно согласиться также с утверждением [9], что плотность сгустков является надежной мерой плотности зерен в очень широкой области значений  $i^*$ . На примере эмульсионных стопок, представленных в табл. 1, можно видеть, что  $B$  является достаточно точной мерой  $g$  лишь в ограниченной области значений  $i^*$  (простирающейся от  $i^*=1$  до  $i^*=4-5$  в мелкозернистых и от  $i^*=1$  до  $i^*\approx 3$  в крупнозернистых нормально проявленных электронно-чувствительных эмульсиях). В области больших значений  $i^*$  при нормальном проявлении стандартная ошибка определения  $g$  из  $B$  оказывается намного больше соответствующей ошибки определения  $g$  из распределения длин разрывов. Кроме того, в области значений  $ag > 0.55$  величина  $\Delta g/g$  проявляет гораздо большую чувствительность к вариациям величины  $\alpha$  в стопке, а также к выбранному условию счета сгустков. В области очень больших значений  $i^*$  (правая ветвь кривой  $B-g$ )  $B$  является плохой мерой  $g$  из-за повышенной чувствительности  $B$  к вариациям величины  $\alpha$  и оптических условий наблюдения, а также из-за трудности достижения статистической обеспеченности результатов измерений (с уменьшением пробега частицы  $N_B$  быстро стремится к нулю). Таким образом, плотность сгустков может считаться ценным ионизационным параметром в довольно ограниченном интервале относительных ионизаций.

Возвращаясь к формуле (1), заметим, что она не очень удобна для практических целей. Действительно, чтобы по измеренным значениям  $B$  и  $\alpha$  определить  $g$ , необходимо заранее строить кривые зависимости  $B$  от  $g$  для заданных значений  $\alpha$  и  $g_{\min}$ . Вполне очевидно, что в интересах практики следовало бы иметь формулу перехода, с помощью которой находить величину  $g$  без каких-либо предварительных расчетов. В качестве такой формулы перехода казалось бы разумным использовать формулу вида

$$g \cong \frac{1}{2\alpha} \mp \sqrt{\frac{1}{4\alpha^2} - \frac{B}{\alpha}}, \quad (3)$$

которая легко получается из (1) путем разложения экспоненты  $e^{-\alpha g}$  в ряд и учета только двух первых членов разложения при решении получившегося уравнения относительно  $g$ . Однако сопоставление значений  $g$ , приведенных в табл. 1, со значениями  $g$ , рассчитанными с помощью формулы (3) и значений  $B$  той же табл. 1, показывает, что формула (3) непригодна для перехода от  $B$  к  $g$ . Действительно, из данных в столбцах 3, 6 и 8 табл. 2 следует, что формула (3) систематически завышает значения  $g$  и  $g^*$ ; это следует из возрастающей функции величины  $ag$  и  $ag_{\min}$  и обуславливается пренебрежением третьим и последующими членами разложения. Кроме того, формула (3) сильно сужает и без того узкий интервал измеримых значений  $i^*$ . Из приведенных в табл. 2 данных видно, что переход от  $B$  к  $g$  с помощью формулы (3) становится невозможным (из-за похода под корнем знака минус) в эмульсиях типов БМ и БР (стопки № 1 и № 2) уже при значениях  $i^* > 2.5, 2.0$  и  $1.2$  соответственно, в то время как области относительных ионизаций, в которых значения  $g$  могут быть измерены с приемлемой точностью, в этих партиях эмульсии простираются до  $i^*=4.5, 3.0$  и  $2.0$  соответственно (табл. 1). В сущности, формула (3) на практике может оказаться полезной лишь в одном случае: при пере-



ходе от  $B_{\min}$  к  $g_{\min}$  и то лишь при условии малости произведения  $\alpha g_{\min}$  ( $\alpha g_{\min} \leq 0.18$ ).

Теперь легко показать, что формула перехода от измеренных плотностей сгустков к плотностям зерен в работе [9] представляет собой не что иное, как разложение уравнения (1) в ряд, т. е. в конечном счете уравнение (3). В самом деле, если обе части равенства (3) поделить на величину  $B_{\min}$  и принять обозначения автора [9] ( $g/g_{\min} = B/B_{\min} = G$ ,  $1/\alpha g_{\min} = 1/\alpha B_{\min} = G_0$ ,  $B/g_{\min} = B/B_{\min} = G_0$ ), то это приведет к результату

$$G_s = \frac{1}{2} G_{\max} \mp \sqrt{\left(\frac{1}{2} G_{\max}\right)^2 - G_0 G_{\max}}, \quad (4)$$

который отличается от результата работы [9] (в его дальнейшем будем обозначать (4')) лишь подкоренным выражением (в подкоренное выражение (4') ошибочно входит +1). Но если это так, то рабочая формула, при-

Таблица 2  
Завышение (%) значений  $g/g_{\min} = I/I_{\min}$  при их подсчете с помощью формул перехода (3), (4) и (4')

№ или	$I$ $I_{\min}$	Эмульсия типа БМ $\alpha g_{\min} = 0.14$			Эмульсия типа БР, стопка $\alpha g_{\min} = 0.18$			Эмульсия типа БР, стопка 2 $\alpha g_{\min} = 0.27$		
		(3)	(4)	(4')	(3)	(4)	(4')	(3)	(4)	(4')
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.00	0	17	1	2	22	0	8	42	4
2	1.20	0	17	3	4	24	3	15	50	4
3	1.40	2	19	5	8	28	8	—	—	—
4	1.60	7	23	9	10	31	9	—	—	11
5	1.80	8	24	10	16	37	12	—	—	16
6	2.00	9	27	13	39	—	—	—	—	—
7	2.50	27	44	25	—	—	—	—	—	—
8	3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—

веденная в [9], не может служить для перехода от  $B^*$  к  $g^*$  в широкой области относительных ионизаций (от 1 до ~ 10 в эмульсии типа БР и от 1 до ~ 18 в эмульсиях ПР и БМ, как указано в [9]) в силу того, что в широком интервале значений  $i^*$  величина произведения  $G_0 G_{\max}$  превосходит первый член подкоренного выражения. В отдельных эмульсиях, рассмотренных в настоящей работе, этот интервал простирается от  $i^* = 2.5$  до  $i^* = 14$  (эмульсия типа БМ), от 2.0 до 9 (БР, стопка № 1) и от 1.2 до 8 (БР, стопка № 2) включительно.

Другим существенным недостатком формулы (4) является то, что она не дает безошибочного перехода от значений  $B^*$  к значениям  $g^*$  также и в области малых («рабочих») значений  $i^*$ . Из данных для  $g^*$  (помещенных в столбцах 4, 7, 10 табл. 2), полученных с помощью формулы (4) и значений  $B$  из табл. 1, следует, что завышение  $g^*$  или  $i^*$  в отдельных партиях эмульсии может достигать 50%. Такие большие погрешности, значительно большие, чем при использовании уравнения (3), представляют собой в основном результат неправильного нормирования. Именно в [9] ошибочно положено, что  $B_{\min} = g_{\min}$  при  $i^* = 1$ . Однако в реальных условиях эксперимента  $B_{\min}$  всегда заметно меньше  $g_{\min}$ . В частности, в рассмотренных в настоящей работе партиях эмульсии различие между  $B_{\min}$  и  $g_{\min}$  составляет 17% в случае эмульсии БМ и 20 и 30% в случае стопок № 1 и № 2 эмульсии типа БР соответственно. Это

различие остается ощутимым (6.5%) даже в случае  $\alpha g_{\min} = 0.40 \cdot 0.15 = 0.06$ . Поэтому использование  $B_{\min}$  вместо  $g_{\min}$  при нормировании вводит в ошибку, обусловленную использованием приближения (3), дополнительную постоянную ошибку, равную  $100 (g_{\min} - B_{\min})/B_{\min}$ , %.

Любопытно отметить, что формула (4) благодаря наличию под корнем +1 приводит к меньшим ошибкам, чем формула (4') (см. данные, приведенные в столбцах 5, 8, 11 табл. 2). Однако введение под знак корня положительной единицы следует считать искусственным приемом, направленным, по-видимому, на то, чтобы как-то подправить формулу перехода. При правильном нормировании уравнения (3), т. е. при делении на  $g_{\min}$ , наличие под корнем +1 приводит к абсурдным результатам.

Таким образом, проведенное рассмотрение позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Плотность сгустков в электронно-чувствительных эмульсиях является удовлетворительной мерой плотности зерен и, следовательно, ионизации однозарядных частиц лишь в области малых значений  $i^*$  (от  $i^* = 1$  до  $i^* \approx 3-5$ ). В этой области ионизаций плотность сгустков довольно чувствительна к изменению  $i^*$ , и вследствие большой величины  $I$  (средней длины промежутков в следе) по существу не зависит от вариации в слое величины  $\alpha$  и оптических условий наблюдения. В области больших значений  $i^*$  плотность сгустков оказывается практически нечувствительной к изменению  $i^*$  (кривая  $B = f(i^*)$  проходит через широкий максимум), а в области очень больших относительных ионизаций, где плотность сгустков снова становится чувствительной к изменению  $i^*$ ,  $B$  как ионизационный параметр теряет свое значение из-за повышенной чувствительности к вариациям величины  $\alpha$  и оптических условий наблюдения, а также из-за трудности достижения статистической обеспеченности результатов измерений.

2. Относительная стандартная ошибка значения  $g$  при его определении из данных счета одних сгустков при  $i^* = 1$  составляет  $\sim 1/\sqrt{N_B}$ , ( $N_B$  — число сосчитанных сгустков) и растет с увеличением  $i^*$  по закону  $\Delta g/g \approx (1/\sqrt{N_B}) [e^{-i^*}/(1 - \alpha g)]$  [10]. Величина произведения  $(\alpha g)_{\text{кр}}$ , при которой  $B$  все еще может считаться достаточно точной мерой плотности зерен, зависит от выбора коэффициента  $A(\alpha g)_{\text{кр}}$ . Для большинства практических условий, по-видимому, разумно положить  $A(\alpha g)_{\text{кр}}$  равным 1.3. Этому значению коэффициента соответствует величина  $(\alpha g)_{\text{кр}} \approx 0.55$ . Последняя имеет силу критерия независимо от размера микрокристаллов эмульсии, ее чувствительности и степени проявления. Таким образом, в эмульсии любого типа счет одних сгустков в состоянии обеспечить разумную точность результатов лишь на следах с  $\alpha g \leq 0.55$ . При значениях  $\alpha g > 0.55$  метод счета сгустков должен быть заменен другим, более точным методом определения  $g$ .

3. Значение  $i^*$ , отвечающее  $(\alpha g)_{\text{кр}}$ , т. е. верхняя граница области ионизаций, в которой  $B$  по определению может считаться удовлетворительно точной мерой плотности зерен, является функцией произведения  $\alpha g_{\min}$  или, что то же самое, функцией чувствительности эмульсии в ионизационном минимуме и степени ее проявления: величина  $i^*_{\text{кр}}$  и соответственно интервал ионизаций, измеримых с помощью счета одних сгустков, оказывается тем больше, чем меньше  $\alpha g_{\min}$ . В рассмотренном частном случае [( $\alpha g)_{\text{кр}} = 0.55$ ] уменьшение  $\alpha g_{\min}$  от 0.27 (эмульсия НИКФИ-БР,  $\alpha g_{\min} = 0.90 \cdot 0.30$ ,  $i^*_{\text{кр}} = 2.2$ ) до 0.14 (эмульсия НИКФИ-БМ,  $\alpha g_{\min} = 0.40 \cdot 0.35$ ,  $i^*_{\text{кр}} = 4.0$ ) увеличивает рабочую область метода от  $\Delta i^* = 1.2$  до  $\Delta i^* = 3.0$ , т. е. почти в 3 раза.

4. Неоправданно высокая чувствительность отечественных эмульсий к частицам минимальной ионизирующей способности сильно сужает ин-



тервал измеримых в них ионизаций. Поэтому необходимой предпосылкой успешного измерения  $g$  методом счета сгустков в отечественных эмульсиях является существенное недопроявление. Оно приводит к уменьшению как величины  $\alpha$ , так и величины  $g_{\min}$ , и, кроме того, благотворно сказывается на дискриминирующей способности эмульсии в области больших значений  $i^*$ .

5. Переход от измеренных плотностей сгустков к соответствующим им плотностям зерен обычно осуществляют с помощью графиков зависимости  $B$  от  $g$ , которые строят для заданных значений  $\alpha$  и  $g_{\min}$ , используя формулу  $B = ge^{-\alpha g}$  и факт наличия линейной связи между  $g$  и ограниченными энергетическими потерями частиц на ионизацию. Указанный переход может быть осуществлен также с помощью рабочих формул метода [11]. Использование в целях перехода от  $B$  к  $g$  формулы, вытекающей из разложения экспоненты соотношения  $B = ge^{-\alpha g}$  в ряд (формула (4) или рабочая формула метода [9]) приводит к завышению значений  $g$  (это завышение является возрастающей функцией  $\alpha g$  и  $\alpha g_{\min}$ ), а также сужает и без того узкий интервал измеримых значений  $i^*$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] C. Castagnoli, G. Cortini, A. Manfredini, Nuovo Cimento, 2, 301, 1955.
- [2] G. Cortini, G. Lussatto, G. Tomasini, A. Manfredini, Nuovo Cimento, 9, 706, 1958.
- [3] J. W. Patrick, W. H. Barkas, Suppl. Nuovo Cimento, 23, 1, 1962.
- [4] G. Alexander, R. H. W. Johnston, Nuovo Cimento, 5, 363, 1957.
- [5] B. Jongejans, Nuovo Cimento, 16, 625, 1960.
- [6] D. Holthuisen, Nuovo Cimento, 17, 928, 1960.
- [7] W. H. Barkas, Phys. Rev., 124, 897, 1961.
- [8] А. О. Вайсенберг, Э. Д. Колганова, Н. В. Рабин, Е. А. Песоцкая, Приб. и техн. эксперим., № 2, 57, 1961.
- [9] Ф. Г. Лепехин, Приб. и техн. эксперим., № 5, 65, 1964.
- [10] P. H. Fowler, D. H. Perkins, Philos. Mag., 46, 587, 1955.
- [11] Н. М. Вирясов, Л. П. Писарева, Приб. и техн. эксперим., № 2, 17, 1958.

Г. Б. ЖДАНОВ, М. И. ТРЕТЬЯКОВА,  
М. И. ЩЕРБАКОВА

#### ЗАВИСИМОСТЬ ИОНИЗАЦИЯ—ИМПУЛЬС ДЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

С целью выяснения возможного различия между ионизирующей способностью частиц разного знака, мы провели серию измерений на электронно-позитронных парах в фотоэмульсиях, экспонированных в импульсном магнитном поле 180кОе в пучке протонов ЦЕРНа с импульсом 24 Бэв/с.

Круглые фотоэмульсионные слои Илфорд G-5 диаметром 6 см (толщина 600 мк) были проявлены в Копенгагене по методике Даль-

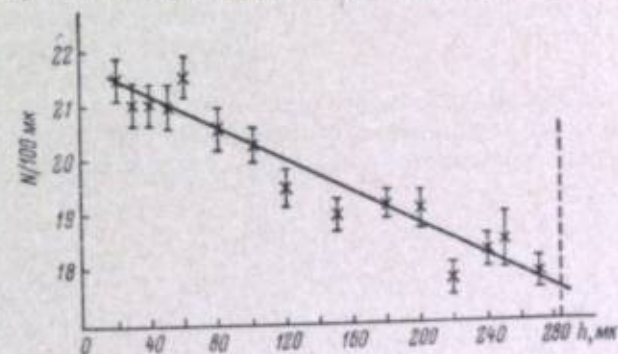


Рис. 1. Зависимость чувствительности 600-микронных слоев эмульсии G-5 от глубины.

Пенсена и обладали сравнительно небольшой зависимостью чувствительности от глубины (рис. 1). Кроме того, приходилось измерять и учитывать также вариации чувствительности в плоскости эмульсионных слоев, достигавшие  $\pm 2-3\%$ .

Импульс и знак заряда определялись по магнитной кривизне следа, ионизация — счетом сгустков. Всего было промерено 52 электронных пары (по трем слоям), причем требовалась длина каждого следа не менее 0.5 см.

В 20 случаях обе компоненты пары проходили на расстоянии, достаточно близком друг от друга (не более 10 мк по глубине) для того, чтобы их относительную ионизацию можно было определить независимо от калибровочных измерений следов протонного пучка. На рис. 2 представлены отношения ионизаций на следах позитрона и электрона данной пары в функции от импульса позитрона (импульс соответствующего электрона указан стрелкой). Среднее по этим 20 парам отношение  $I^+/I^-$  получилось равным  $1.004 \pm 0.007$ .



На рис. 3 представлены результаты измерений ионизации позитронов и электронов, отнесенной каждый раз к калибровочному значению ионизации протона с импульсом 24 Бэв/с, по всем измеренным нами 52 парам<sup>1</sup> (полная длина следов электронов 106 см).

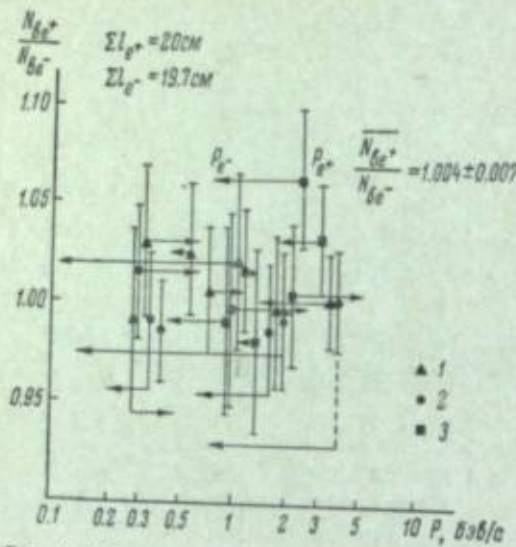


Рис. 2. Отношение ионизации на следах позитрона и электрона одной и той же пары как функция импульса позитрона.  
1 — пластинка 20; 2 — пластинка 22;  
3 — пластинка 24.

Отметим, что специальные меры были приняты для уменьшения систематического влияния многократного рассеяния при возрастании истинной длины следа: требовалось, чтобы угол отклонения следа от измери-

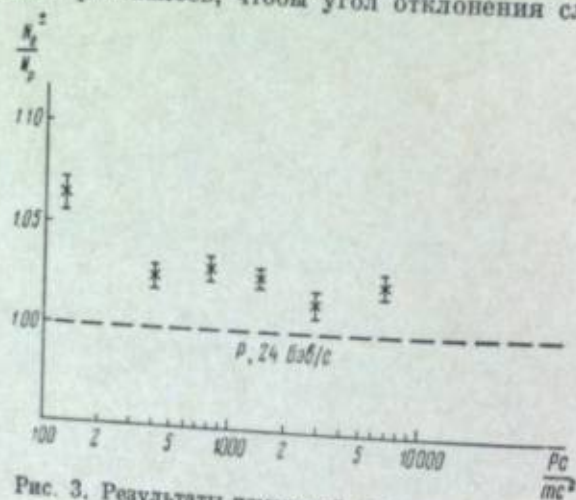


Рис. 3. Результаты измерений ионизации позитронов и электронов как функция импульса. Ионизация выражена в единицах ионизации протонов калибровочного пучка с импульсом 24 Бэв/с.

тельной шкалы (в поле зрения микроскопа) и от горизонтальной плоскости не превышала  $4^\circ$ .

<sup>1</sup> Приведенные на рис. 2 и 3 статистические ошибки оценивались исходя из величины отклонения  $\sqrt{N_B}$  ( $N_B$  — суммарное число сгустков, сосчитанных на данном следе); проверка реального разброса данных показала, что эта оценка во всяком случае не занижена.

В заключение авторы благодарят доктора Э. Даль-Иенсена за разрешение воспользоваться частью фотоэмульсионной стопки, экспонированной им в импульсном магните доктора Л. Гофмана, и лаборантов М. Волчкову, А. Колядину, Е. Крупецкову и Н. Соболеву за тщательно выполненные ими кропотливые измерения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] К. И. Алексеева, Г. Б. Жданов, М. И. Третьякова, М. Н. Щербакова, ЖЭТФ, 44, 1864, 1963.



## СОДЕРЖАНИЕ

От редакции	Стр.
<b>I. Изготовление и свойства ядерных фотоэмульсий</b>	
Н. Р. Новикова, В. И. Захаров, Е. В. Фади́на. Применение синтетических полимеров при изготовлении мелкозернистых ядерных эмульсий	5
Н. А. Перфилов, Н. Р. Новикова, В. И. Захаров, Е. В. Фади́на. Свойства мелкозернистой ядерной эмульсии типа ПР-2	16
Л. Н. Бокова, Л. Г. Кривенцова. Обогащение ядерных эмульсий ядрами водорода	21
Я. М. Ве́рик, А. П. Жданов, Г. Г. Мартыш, Л. И. Шу́р. Теоретическое обоснование выбора проявляющего вещества для введения в ядерную эмульсию	25
* Д. М. Самойлович. О центрах чувствительности и центрах проявления ядерных эмульсий	28
К. М. Романовская, К. С. Богомолов. Механизм влияния влаги на стабильность центров скрытого изображения	36
А. Л. Картужанский, А. Ф. Юрченко, Л. И. Шу́р, Г. Г. Мартыш. Регрессия чувствительности и скрытого изображения в ядерных и оптических фотоэмульсиях	43
А. П. Жданов, И. М. Кукс. Прямой метод определения чувствительности микрокристаллов к заряженным частицам	49
* А. П. Жданов, И. М. Кукс. О распределении микрокристаллов AgBr по чувствительности в эмульсии НИКФИ тип Р	53
К. С. Богомолов, И. А. Фомина, В. С. Маркова. Влияние интенсивности электронного пучка и температуры при облучении на чувствительность фотоэмульсий с различной степенью созревания	60
* В. И. Матвиенко, А. Л. Картужанский, Г. Г. Мартыш, Т. М. Трегубова, Л. И. Шу́р. Свойства ядерных фотоэмульсий, сенсibilизированных триэтаноламином, при низких температурах	69
Х. А. Ге́дель. Расчет разрешающей способности фотослоев в автордиографии	75
<b>II. Обработка ядерных фотоэмульсий</b>	
И. Б. Блюмберг. Кинетика химико-фотографической обработки слоев ядерных эмульсий	80
Н. П. Кочеров. Исследование порогового окисления и проявления скрытого изображения, образованного заряженными частицами в ядерных эмульсиях	85
* А. Л. Картужанский. О возможности дискриминации излучений при регистрации их в виде фотографических почернений	91
* Я. М. Ве́рик. Физическое проявление как принцип ограничения чувствительности эмульсии во времени	96
К. С. Богомолов, Т. И. Крестовникова, М. С. Хайкин, И. И. Левкоев, В. А. Кухти. Исследование 4-аминопиперазолонов (5) в качестве проявляющих веществ в ядерной фотографии	100
А. Б. Акопова. Ускоренный метод обработки слоев ядерной эмульсии толщиной 600 мк	106
А. Б. Акопова, Л. В. Медкумян, Х. Б. Пачаджян, А. Г. Сальманян. Исследование топографии ультразвукового поля при обработке ядерных эмульсий	110

* Я. М. Ве́рик, Н. И. Григорьев. Способ фиксирования и промывки бесподложечных эмульсионных слоев для ядерных исследований	113
М. И. Трухин. Результаты обработки эмульсионных слоев НИКФИ типов БР-2-600 и БР-2-800	115
* В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова. К вопросу об условиях проведения стадии стоп-ванны в процессе фотографической обработки толстослойных фотоматериалов для ядерных исследований	118
* В. М. Уварова, Т. И. Крестовникова. Влияние окисленной формы проявляющих веществ на коррозию изображения следов заряженных частиц в фотоматериалах для ядерных исследований	128
И. Б. Беркович, Л. И. Шу́р. Регистрация $\alpha$ -следов от радиоактивных ядер и временное различие следов $\alpha$ -частиц в ядерных эмульсиях	131

## III. Измерение и анализ следов в ядерных фотоэмульсиях

А. С. Ассовская, Ф. Г. Лепехин, М. М. Макаров, Р. М. Рагузин, Г. Е. Скворцов, Н. М. Федорова. Разработка первых промышленных образцов микроскопов для ядерных эмульсий с автоматическим выводом цифровой информации и практика их использования совместно с электронными вычислительными машинами	134
А. Е. Воронков, Г. Б. Жданов, Л. В. Сухов, М. Ф. Соловьева, М. И. Третьякова, М. М. Чернявский. Дальнейшее развитие аппаратуры для измерения следов частиц в фотоэмульсионным методом	137
А. Е. Воронков, Г. Е. Беловицкий, Л. Н. Колесникова, П. Н. Комолов, В. С. Маренков, М. Ф. Соловьева, Л. В. Сухов. Полуавтоматическая установка для измерения геометрических параметров следов заряженных частиц в фотоэмульсиях	140
А. С. Ассовская, Ф. Г. Лепехин. Измерение относительной ионизации по счёту сгустков и спектру просветов на следах быстрых частиц в ядерных фотоэмульсиях	147
* Н. В. Скирда. К вопросу об измерении относительной ионизации частиц в ядерных эмульсиях путем счёта сгустков	151
Г. Б. Жданов, М. И. Третьякова, М. Н. Щербакова. Зависимость ионизация—импульс для электронов и позитронов высокой энергии	159



УСПЕХИ НАУЧНОЙ ФОТОГРАФИИ  
том XII

Ядерная фотография

Утверждено к печати  
Комиссией по химии  
фотографических процессов  
при АН СССР

Редактор издательства Г. А. Гольдштейн  
Технический редактор Л. М. Семенов  
Корректоры Л. Б. Данилов и Р. А. Суданова

Сдано в набор 23/III 1966 г. Подписано к печати 13/VII 1966 г.  
РИСО АН СССР № 43-74В. Формат бумаги  $70 \times 108^{2/3}_{16}$ . Бум. л.  
5<sup>1/2</sup>. Печ. л.  $10^{1/2}$  = 14,35 усл. п. л. Уч.-изд. л. 12,87. Изд.  
№ 2988. Тип. зан. № 859. М-30609. Тираж 1600. Бумага типо-  
графская № 1.

Цена 50 коп.

Ленинградское отделение издательства «Наука»  
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. издательства «Наука». Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12



