

БИБЛИОТЕКА
ФОТОЛЮБИТЕЛЕЙ

Специальные виды Фотосъёски



« ИСКУССТВО »

БИБЛИОТЕКА ФОТОЛЮБИТЕЛЕЙ

Выпуск 5

Н. Н. КУДРЯШОВ, Б. А. ГОНЧАРОВ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ФОТОСЪЕМКИ

(МАКРО-, МИКРО-ФОТОСЪЕМКА)

*Издание 2-е,
исправленное и дополненное*

под редакцией
канд. техн. наук Е. А. ИОФИСА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ИСКУССТВО

Москва 1959

АННОТАЦИЯ

Книга состоит из двух разделов. В первом разбираются методы и техника фотографирования мелких объектов в крупном плане с описанием и расчетными данными специальных приспособлений.

Второй раздел посвящен описанию фотосъемок через микроскоп.

Отзывы о книге и замечания издательство просит направлять по адресу: Москва И-51, Цветной бульвар, 25, издательство „Искусство“.

Раздел I

МАКРОСЪЕМКА

ЧТО ТАКОЕ МАКРОСЪЕМКА

Фотографирование мелких объемных предметов в крупном масштабе называется макросъемкой.

Масштабом изображения называют отношение размеров изображения объекта на снимке к его действительным размерам, т. е.

$$\text{масштаб изображения} = \frac{\text{размер изображения объекта на снимке}}{\text{размер объекта съемки}}$$

Обычно под макросъемкой понимают фотографирование в крупном масштабе в пределах от 1 : 10 до 5 : 1. Если мы фотографируем какой-либо предмет в натуральную величину, то это значит, что масштаб изображения равен 1 : 1. Если же изображение предмета на снимке, например, в десять раз меньше его действительных размеров, то мы скажем, что масштаб изображения равен 1 : 10. Наоборот, если изображение снимаемого предмета больше, например, в 5 раз, чем его действительные размеры, то масштаб изображения будет равен 5 : 1.

Макросъемка является специальным видом фотографии, так как для ее выполнения требуются специальные приспособления к фотографическому аппарату и особая методика проведения съемочного процесса.

Особенности процесса макросъемки заключаются в том, что фотографирование в крупном масштабе требует значительного выдвижения объектива для наводки изображений снимаемого предмета на резкость. При выдвижении объектива, как известно, изменяется величина его относительного отверстия и уменьшается светосила.

Основной трудностью выполнения макросъемки является малая глубина резко изображаемого пространства при большом выдвижении объектива, которое необходимо для наводки на фокус при съемке с весьма близких расстояний.

Рассмотрим эти особенности и трудности макросъемки на конкретном примере.

Допустим, что нам необходимо сфотографировать в натуральную величину, т. е. в масштабе 1 : 1, малоформатным фотоаппаратом «Зоркий» или «Зенит» какой-либо мелкий объект, например пчелу, сидящую на цветке.

Как известно, для съемки в натуральную величину, т. е. в масштабе 1 : 1, объектив выдвигается на двойное фокусное расстояние. Следовательно, необходимо располагать приспособлением к нашему фотографическому аппарату, обеспечивающим выдвижение объектива на величину до $2f$. Далее мы должны учесть, что при выдвижении объектива на величину, равную $2f$, его относительное отверстие будет уменьшено в два, а светосила — в четыре раза. При вычислении экспозиции мы уже не можем пользоваться данными относительных отверстий, имеющимися на оправе объектива, а должны пересчитать выдержки в соответствии со степенью выдвижения объектива. Наконец, мы должны определить необходимую глубину резко изображаемого пространства, чтобы получить на снимке достаточно четкими все наиболее важные для нас детали объекта съемки.

В нашем примере мы поставили себе целью снять пчелу, сидящую на цветке, и хотим, чтобы не только пчела, но и цветок, находящиеся на разных удалениях от объектива фотоаппарата, получились на снимке вполне отчетливо. Для этого необходимо, чтобы глубина резко изображаемого пространства составляла не менее 20 мм. Посмотрев табл. 4, в которой приведены данные глубины резко изображаемого пространства, мы увидим, насколько трудная задача стоит перед фотографом, поставившим себе целью сфотографировать мелкий объемный объект в масштабе 1 : 1. Дело в том, что даже при очень сильном диафрагмировании объектива до 1 : 16 глубина резко изображаемого пространства составляет всего только около 2,4 мм, т. е. в восемь раз меньше того, что нам требуется.

Какой же выход из положения может быть найден? Неужели мы не можем сфотографировать крупно пчелу, сидящую на цветке? Конечно, можем. Но только путем выбора наиболее рациональных условий съемки и неизбежным (в известных пределах) снижением требований к резкости изображения на снимке.

Для получения необходимой глубины резко изображаемого пространства мы должны снимать наш объект в более

мелком масштабе, т. е. не 1 : 1, а 1 : 4, имея в виду последующее увеличение снимка до нужных размеров.

При увеличении снимка мы будем иметь, разумеется, некоторое снижение резкости, но все же сможем получить вполне удовлетворительное изображение.

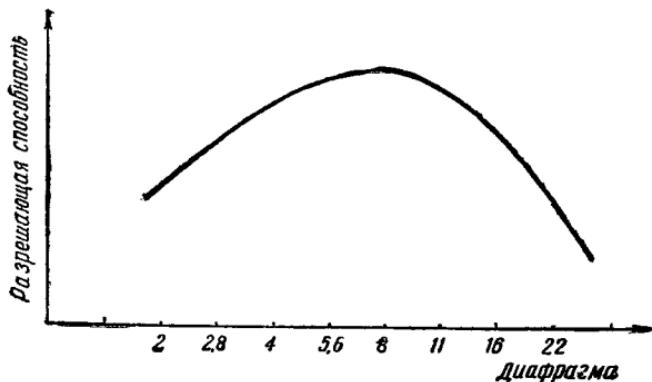


Рис. 1. Изменение разрешающей способности системы объектив+фотослой в зависимости от относительного отверстия объектива

Необходимо предупредить читателя еще и о том, что при сильном диафрагмировании ухудшается разрешающая способность объектива, т. е. снижается абсолютная резкость изображения. Разрешающая способность объектива характеризуется числом линий на *мм*, которые объектив способен «разрешить», т. е. воспроизвести на снимке в виде отчетливо различимых отдельных линий.

На рис. 1 приведена кривая, которая характеризует в общем виде изменение разрешающей способности системы объектив+фотослой, откуда видно, что наилучшая разрешающая способность может быть получена при относительных отверстиях объектива порядка 1 : 5,6—1 : 8. При больших значениях относительного отверстия разрешающая способность снижается.

Из рассмотренного примера выясняются основные трудности выполнения макросъемки. Невозможно дать один рецепт для всех случаев макросъемки. При фотографировании каждого объекта вопрос нужно решать самостоятельно, в зависимости от поставленной задачи. Возможно, что при макросъемке какого-либо мелкого объекта, хотя бы той же пчелы, нам нужно будет получить наиболее четкое воспро-

изведение деталей, например строение крыльев пчелы, тогда мы должны решать нашу задачу иначе. В этом случае мы будем стремиться получить максимально резкое изображение крыльев пчелы, будем фотографировать в возможно более крупном масштабе, не обращая внимания на то, что цветок, на котором сидит пчела, получится на снимке не в фокусе.

К перечисленным трудностям в практических условиях обычно добавляются трудности уже не технического, а организационного порядка.

Макросъемка той же пчелы или других объектов в естественных условиях требует большого умения выбирать подходящие места для работы и соответственным образом обставлять их всем необходимым для успешного выполнения съемки (защита от ветра, применение подсветов, установка и маскировка фотоаппарата и т. д.), а также умения быстро и точно кадрировать изображение и вносить необходимые поправки в установку фотоаппарата, подсветов и других приспособлений в соответствии с меняющимися условиями. Всему этому нельзя научиться только по книге, которая хотя и помогает фотографу правильно ориентироваться, но не может дать навыков, необходимых в практической работе.

Трудности макросъемки подвижных объектов усугубляются еще и тем, что фотографирование в крупном масштабе в большинстве случаев производится в условиях недостатка света в связи с необходимостью сильно диафрагмировать объектив.

Макросъемку неподвижных объектов осуществить легче, чем подвижных, так как здесь мы не связаны с перемещением объекта съемки, можем как угодно расположить объект перед фотографическим аппаратом, наилучшим образом его высветить и применить такую диафрагму, которая обеспечивает получение нужной глубины резко изображаемого пространства.

Большое значение для получения качественных макрофотографий и успешности работы имеет оснащенность фотографа необходимой аппаратурой и приспособлениями для макросъемки. Прежде всего необходимо, чтобы фотоаппарат обеспечивал возможность кадрировать и фокусировать изображение по матовому стеклу. Пластиночные фотоаппараты, как правило, имеют наводку по матовому стеклу. Из малоформатных пленочных фотоаппаратов этому требованию от-

вечают фотоаппараты «Зейт» и «Старт». К другим фотоаппаратам, как, например, «Зоркий» или «Киев», приспособление для наводки по матовому стеклу можно сделать самому. Наименее пригодны для макросъемки пленочные фотоаппараты типа «Москва» и «Смена». Тем не менее имеется все же возможность производить макросъемку и этими фотоаппаратами, как об этом будет рассказано ниже.

Чтобы осуществить фотографирование в крупном масштабе, прежде всего нужны приспособления для дополнительного выдвижения объектива.

Кроме того, необходимы специальные штативы для фотоаппарата, подставки и столики для объектов съемки, осветительные приборы.

Успех выполнения макросъемки зависит также от умения фотографа производить несложные, но необходимые расчеты.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МАКРОСЪЕМКИ

Если мы задались целью сфотографировать какой-либо мелкий предмет в определенном масштабе, то нам нужно рассчитать следующие данные:

площадь объекта съемки, которая будет охвачена снимком;

величину дополнительного выдвижения объектива;

расстояние от объекта до фокальной плоскости;

величину диафрагмы для получения необходимой глубины резко изображаемого пространства;

коэффициент увеличения выдержки в зависимости от масштаба изображения.

На рис. 2 изображена схема построения изображения объективом при макросъемке. Особенность этого построения заключается в том, что объектив имеет большое дополнительное выдвижение Δf . На схеме даны буквенные обозначения величин, которые приняты в основных формулах макросъемки.

При выполнении точных расчетов необходимо иметь также точные данные о величине фокусного расстояния объектива, которым производится макросъемка, так как nominalное значение фокусного расстояния, обозначенное на оправе объектива, не всегда соответствует его действительной величине.

Для объективов «Индустар-22» и «Юпитер-8» $f=52,4\text{ mm}$, а для объектива «Индустар-10» $f=50,0\text{ mm}$. Кроме того, при изготовлении объективов неизбежны некоторые отклонения, лежащие в пределах определенных производственных допусков. Только специальные объективы, предназначаемые для точных работ, изготавляемые по особому заказу, имеют обозначение f , соответствующее величине действительного фокусного расстояния.

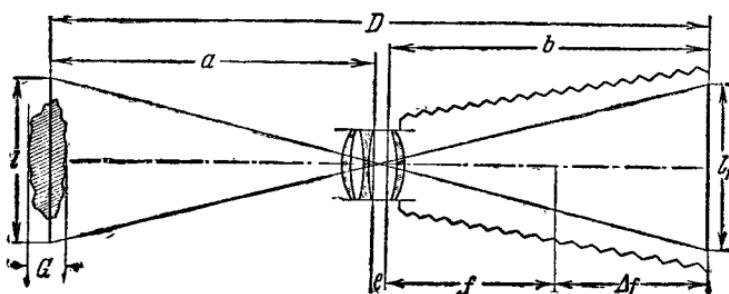


Рис. 2. Схема образования изображения объективом при макросъемке:

L —размер объекта съемки, L' —размер изображения объекта, f —фокусное расстояние объектива, b —расстояние между задней главной плоскостью объектива и плоскостью изображения ($f+\Delta f$), Δf —величина дополнительного выдвижения объектива, e —расстояние между главными плоскостями объектива, D —расстояние от плоскости наводки в пространстве предметов до фокальной плоскости в пространстве изображений, a —расстояние от плоскости наводки до передней главной плоскости объектива (от предмета до объектива), G —глубина резко изображаемого пространства

Величину действительного фокусного расстояния на заводах и в оптических лабораториях определяют на специальном приборе — оптической скамье. В обычных условиях фотолюбитель может с достаточной для практики точностью определить величину действительного фокусного расстояния путем наводки объектива сначала на бесконечность, а потом на такое расстояние, при котором изображение получается точно в масштабе $1:1$. Разность в выдвижениях объектива и будет как раз величиной действительного фокусного расстояния, так как для съемки в масштабе $1:1$ дополнительное выдвижение объектива Δf будет равно f .

Кроме того, при выполнении расчетов для макросъемки в ряде случаев необходимо учитывать расстояние e между главными плоскостями объектива. Для этого нужно знать расположение главных плоскостей в объективе, которым

производится съемка, чтобы правильно производить отмеривание вычисленных расстояний Δf и a (см. рис. 2)¹.

В некоторых объективах расстояние между главными плоскостями незначительно. Так, например, у объектива «Индустар-22» оно составляет — 1,2 мм. При работе с этим объективом расстояние e (между главными плоскостями объектива) может не учитываться. В объективах же других конструкций расстояние e бывает значительным. У объектива «Юпитер-8» расстояние e составляет +4,3 мм, а у объектива «Юпитер-12» ($f=35$ мм) оно весьма значительно— около +10 мм.

Расположение главных плоскостей объектива можно определить следующим простым способом.

Объектив нужно положить на желобок вращающейся подставки, как показано на рис. 3, поставив позади объектива матовое стекло или непрозрачный экранчик, на который отфокусировать изображение какого-либо объекта, находящегося на любом расстоянии от объектива. После этого нужно поворачивать объектив вокруг вертикальной оси y . Если при этом изображение, даваемое объективом, будет перемещаться, то это значит, что ось вращения не совпадает с задней главной плоскостью объектива. Переставляя объектив в желобке подставки вдоль оси x , нужно найти такое положение оси вращения, при котором от вращения объектива положение изображения не изменяется. Это будет означать, что ось вращения объектива совпадает с задней главной плоскостью объектива. Положение передней главной плоскости находится аналогичным образом, только для этого необходимо объектив повернуть по отношению к экрану на 180°.

Основным характеризующим элементом макросъемки является масштаб изображения. Поэтому нам необходимо

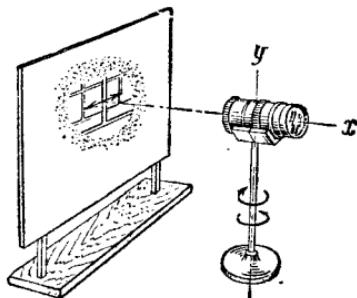


Рис. 3. Установка для определения положения главных плоскостей объектива

¹ Подробнее о главных плоскостях объектива см. «Библиотека фотолюбителя», выпуск 1.

уточнить понятие масштаба изображения и выразить его математически.

Как уже было сказано, масштабом изображения называют отношение размеров изображения на снимке к действительным размерам объекта. Математически это выражается так:

$$m = \frac{l_1}{l}, \quad (1)$$

где l_1 — линейные размеры изображения объекта на снимке;

l — действительные линейные размеры объекта съемки.

Иногда при выполнении расчетов удобнее пользоваться обратным соотношением, которое называют масштабом объекта.

Масштаб объекта показывает отношение размеров объекта съемки к размерам его изображения на снимке, т. е.

$$M = \frac{l}{l_1}. \quad (2)$$

Следовательно, между масштабом изображения и масштабом объекта существуют следующие соотношения:

$$m = \frac{1}{M} \quad (3)$$

$$\text{и} \quad M = \frac{1}{m}, \quad (4)$$

где m — масштаб изображения;

M — масштаб объекта.

При выполнении расчетов пользуются как масштабом изображения m , так и масштабом объекта M , в зависимости от соотношения размеров изображения и размеров объекта съемки. Если размеры изображения меньше размеров объекта съемки, то m является дробным числом, что усложняет вычислительную работу. Поэтому в этих случаях пользуются числом M , т. е. масштабом объекта, которое в этом случае будет целым числом, а не дробным. Если же размеры изображения больше размеров объекта съемки, то, наоборот, M будет выражаться дробью, и тогда удобнее вводить в формулы m , которое будет являться целым числом.

Поэтому все формулы, по которым производится расчет основных элементов макросъемки, мы даем в двух вариантах:

в одном варианте соотношение размеров изображения и объекта дается через m , а в другом через M .

Перейдем к описанию процесса выполнения необходимых расчетов для макросъемки. Покажем, как это делается на конкретном примере.

Допустим, что мы должны выполнить макросъемку какого-либо мелкого объекта, хотя бы той же пчелы, в масштабе $1 : 4$, т. е. $m = \frac{1}{4}$, или $M = 4$. В нашем распоряжении имеется фотоаппарат «Зоркий» с объективом «Индустар-22» $f = 50 \text{ мм}$. Размеры кадра $24 \times 36 \text{ мм}$.

Предварительным испытанием объектива мы установили, что действительное фокусное расстояние нашего объектива составляет не 50, а 52 мм. Как мы знаем, расстояние между главными плоскостями в объективе «Индустар-22» очень мало, поэтому при расчетах учитывать его не будем.

Прежде всего определим размеры фотографируемой площади, которая войдет в кадр, имеющий размеры $24 \times 36 \text{ мм}$.

Этот расчет производится по формуле

$$l = \frac{l_1}{m} \quad (5)$$

или

$$l = l_1 M, \quad (6)$$

где l — линейный размер стороны кадра в фотоаппарате;

l_1 — линейный размер стороны прямоугольника, соответствующего фотографируемой площади в плоскости на-водки в пространстве предметов.

Мы можем пользоваться любой из формул (5) или (6), но при пользовании формулой (5) нам необходимо производить деление на дробное число, а при пользовании формулой (6) мы должны производить умножение на целое число, что более просто, хотя ответ будет получен один и тот же.

Подставляя численные значения в формулу (5) или (6) получим:

линейный размер меньшей стороны площади объекта съемки равен $24 \times 4 = 96 \text{ мм}$;

линейный размер большей стороны площади объекта съемки равен $36 \times 4 = 144 \text{ мм}$.

Таким образом, площадь, которая охватывается нашим кадром, имеющим размеры $24 \times 36 \text{ мм}$, будет равна $96 \times 144 \text{ мм}^2$.

В табл. 1 приведены данные, вычисленные по формулам (5) и (6), определяющие размеры фотографируемой площади для форматов кадра 24×36 мм, $6,5 \times 9$ см, 9×12 см и 13×18 см при масштабах изображения от 1 : 10 до 5 : 1.

Таблица 1
Охват пространства в плоскости наводки при макросъемке на разные форматы кадра в зависимости от масштаба изображения

Масштаб изображения	Формат кадра, см			
	$2,4 \times 3,6$	$6,5 \times 9$	9×12	13×18
Охватываемое пространство, см				
1:10	24×36	65×90	90×120	130×180
1:9	$21,6 \times 32,4$	$58,5 \times 81$	81×108	117×162
1:8	$19,2 \times 28,8$	52×72	72×96	104×144
1:7	$16,8 \times 25,2$	$45,5 \times 63$	63×84	91×126
1:6	$14,4 \times 21,6$	39×54	54×72	78×104
1:5	12×18	$32,5 \times 45$	45×60	65×90
1:4	$9,6 \times 14,4$	26×36	36×48	52×72
1:3	$7,2 \times 10,8$	$19,5 \times 27$	27×36	39×54
1:2	$4,8 \times 7,2$	13×18	18×24	26×36
1:1,5	$3,6 \times 5,4$	$9,7 \times 13,5$	$13,5 \times 18$	$19,3 \times 27$
1:1	$2,4 \times 3,6$	$6,5 \times 9$	9×12	13×18
1,5:1	$1,6 \times 2,4$	$4,3 \times 6$	6×8	$8,6 \times 12$
2:1	$1,2 \times 1,8$	$3,2 \times 4,5$	$4,5 \times 6$	$6,5 \times 9$
3:1	$0,8 \times 1,2$	$2,2 \times 3$	3×4	$4,3 \times 6$
4:1	$0,6 \times 0,9$	$1,6 \times 2,2$	$2,2 \times 3$	$3,2 \times 4,5$
5:1	$0,48 \times 0,72$	$1,3 \times 1,8$	$1,8 \times 2,4$	$2,6 \times 3,6$

Теперь определим величину необходимого дополнительного выдвижения объектива Δf (см. рис. 2), чтобы знать, какой длины дополнительный тубус мы должны применить.

Величина дополнительного выдвижения объектива Δf определяется по формуле

$$\Delta f = fm \quad (7)$$

или

$$\Delta f = \frac{f}{M}. \quad (8)$$

Зная, что для нашего объектива $f=52$ мм, а $M=4$, подставляем числовые значения в формулу (8):

$$\Delta f = \frac{52}{4} = 13 \text{ мм.}$$

Следовательно, чтобы произвести фотографирование в масштабе 1 : 4, необходимо иметь дополнительный тубус длиной 13 мм, если объектив фотоаппарата «Зоркий» установлен на бесконечность.

В табл. 2 даны вычисленные по формулам (7) и (8) величины дополнительного выдвижения объективов различных фокусных расстояний для съемки в масштабах от 1 : 10 до 5 : 1.

Таблица 2

Дополнительное выдвижение объектива (Δf) при фотографировании в разных масштабах

Масштаб изображения	Фокусное расстояние, мм							
	$f=28$	$f=35$	$f=50$	$f=85$	$f=100$	$f=110$	$f=135$	$f=150$
Величина дополнительного выдвижения (Δf), мм								
1:10	2,8	3,5	5	8,5	10	11	13,5	15
1:9	3,1	3,9	5,6	9,4	11,1	12,2	15	16,6
1:8	3,5	4,4	6,2	10,6	12,5	13,8	16,9	18,9
1:7	4	5	7,1	12,1	14,3	15,7	19,3	21,4
1:6	4,7	5,8	8,3	14,2	16,6	18,3	22,5	25
1:5	5,6	7	10	17	20	22	27	30
1:4	7	8,8	12,5	21,2	25	27,5	33,7	37,5
1:3	9,3	11,7	16,6	28,2	33,3	36,6	45	50
1:2	14	17,5	25	42,5	50	55	67,5	75
1:1,5	18,6	23,3	33,3	56,6	66,6	73,3	90	100
1:1	28	35	50	85	100	110	135	150
1,5:1	37,3	46,6	66,6	118,6	136,6	146,6	180	200
2:1	56	70	100	170	200	220	270	300
3:1	84	105	150	225	300	330	405	450
4:1	112	140	200	340	400	440	540	600
5:1	140	175	250	425	500	550	675	750

Далее нам нужно узнать, на каком расстоянии от объектива съемки (точнее, от плоскости наводки) должен находиться фотоаппарат. Замер этого расстояния производится от фокальной плоскости, т. е. от плоскости, в которой расположена пленка в фотоаппарате. Это расстояние D (см. рис. 2) определяется по формуле

$$D = f \left(m + \frac{1}{m} + 2 \right) + e \quad (9)$$

или

$$D = f \left(\frac{1}{M} + M + 2 \right) + e, \quad (10)$$

где e — расстояние между главными плоскостями объектива.

Так как главные плоскости в объективе «Индустар-22» практически совпадают, то при расчетах в данном случае расстояние e может не учитываться.

Подставляя численные значения в формулу (9) или (10), получаем

$$D = 52 \left(\frac{1}{4} + 4 + 2 \right) = 325 \text{ мм.}$$

Таким образом, мы теперь имеем все необходимые данные для установки фотоаппарата.

Мы рассчитали, что при съемке в масштабе 1 : 4 фотографируемая площадь в плоскости наводки будет 96 × 144 мм, дополнительный тубус должен обеспечивать выдвижение объектива на 13 мм, расстояние между плоскостью наводки и фокальной плоскостью составляет 325 мм.

В табл. 3 даны вычисленные по формулам (9) и (10) расстояния от плоскости наводки до фокальной плоскости для масштабов изображения от 1 : 10 до 5 : 1 без учета расстояния e между главными плоскостями объектива, которое у объективов разных конструкций различно. У объектива «Индустар-22» оно настолько мало, что его можно считать равным нулю. Наоборот, у объектива «Юпитер-12» $f=35$ мм расстояние между главными плоскостями весьма значительно — оно составляет около 10 мм, поэтому его нужно учитывать и прибавлять к каждой величине, взятой из табл. 3.

П р и м е р. Мы хотим узнать, каково будет расстояние между плоскостью наводки и фокальной плоскостью при съемке в масштабе 1 : 2 объективом «Юпитер-12» $f=35$ мм. Из табл. 3 узнаем, что это расстояние будет равно 157,5 мм. Но мы знаем, что расстояние между главными плоскостями e у объектива «Юпитер-12» составляет 10 мм, поэтому необходимо прибавить эту величину к величине D , найденной в таблице. Окончательный результат будет $157,5 + 10 = 167,5$ мм.

Как определить расстояние между главными плоскостями объектива, рассказано на стр. 9.

Таблица 3

Расстояние от плоскости наводки до плоскости изображения

$$(D = a + b)$$

(Без учета расстояния между главными плоскостями объектива)

Масштаб изображения	Фокусное расстояние, мм							
	f=28	f=35	f=50	f=85	f=100	f=105	f=110	f=135
Расстояние от плоскости наводки до плоскости изображения, мм								
1:10	338,8	423,5	605	1028,5	1210	1270,5	1331	1663,5
1:9	310,8	388,5	555	943,5	1110	1165,5	1221	1498,5
1:8	282,8	353,5	505	858,5	1010	1060,5	1111	1363,5
1:7	256	319,9	457	776,9	914	959,7	1005,4	1233,9
1:6	228,8	286	408,5	674,5	817	857,9	898,7	1103
1:5	201,6	252	360	612	720	756	792	972
1:4	175	218,8	312,5	531,3	625	656,3	687,5	834,8
1:3	145,6	182	260	442	520	546	572	702
1:2	126,0	157,5	225	382,5	450	472,5	495	607,5
1:1,5	116,5	145,6	208	353,6	416	436,8	457,6	566,6
1:1	112	140	200	340	400	420	440	540
1,5:1	119	148,8	212,5	361,3	425	436,8	467,5	573,8
2:1	126	157,5	225	381	450	472,5	550	675
3:1	149,3	186,6	266,7	453,3	533	560	641	787,5
4:1	175	218,8	312,5	531,3	625	656,2	742	910,5
5:1	201,6	252	360	612	720	756	837	1039,5

Для нашего примера остается еще решить вопрос о необходимом диафрагмировании объектива для достижения требуемой глубины резко изображаемого пространства и определить правильную экспозицию.

Глубиной резко изображаемого пространства называется протяженность пространства перед объективом фотоаппарата, в пределах которого каждая точка снимаемых объектов воспроизводится в фокальной плоскости в виде кружка рассеяния с диаметром z' , не превышающим допустимых пределов.

Глубина резко изображаемого пространства обозначается буквой G . При фотографировании малоформатными фотоаппаратами, негативы которых, как правило, требуют увеличения, а также при киносъемке за предельную величину диаметра кружка рассеяния принимают $\frac{1}{20}$ мм, или

0,033 мм^1 , а при фотографировании крупноформатными фотоаппаратами, снимки которых не предназначены для увеличения, допускается кружок рассеяния с диаметром 0,1 мм .

Глубина резко изображаемого пространства определяется по формуле

$$G = 2kz' \cdot \frac{1}{m} \left(\frac{1}{m} + 1 \right) \quad (11)$$

или

$$G = 2kz'M(M+1), \quad (12)$$

где z' — диаметр кружка рассеяния;

k — число диафрагмы объектива (знаменатель относительного отверстия). Отсюда необходимая диафрагма будет

$$k = \frac{G}{2z' \left[\frac{1}{m} \left(\frac{1}{m} + 1 \right) \right]} \quad (13)$$

или

$$k = \frac{G}{2z'M(M+1)}. \quad (14)$$

Положим, что объект нашей съемки имеет протяженность в глубину, равную 12 мм , тогда

$$k = \frac{12}{2 \cdot 0,033 \cdot 4 (4+1)} \approx 9.$$

Следовательно, при диафрагме 9 мы получим на снимке четкое воспроизведение всех деталей объемного предмета.

В табл. 4 приведены вычисленные по формулам (11) и (12) величины глубины резко изображаемого пространства в зависимости от относительного отверстия объектива для съемки малоформатными камерами (диаметр кружка рассеяния $z' = 1/_{30} \text{ мм}$).

¹ На шкалах глубины резкости у объективов малоформатных фотоаппаратов в основу расчетов положены различные величины кружков рассеяния, например $1/_{30}, 1/_{25} \text{ мм}$ и другие. Поэтому данные на объективах и в таблицах справочников могут несколько отличаться.

Таблица 4

Глубина резко изображаемого пространства при макросъемке малоформатными фотоаппаратами «ФЭД», «Зоркий», «Киев», «Старт», «Зенит» и др.

$$\left(z' = \frac{1}{30} \text{ мм} = 0,033 \text{ мм} \right)$$

Масштаб изображения	Относительное отверстие							
	1:2	1:2,8	1:4	1:5,6	1:8	1:11	1:16	1:22
Глубина резко изображаемого пространства, мм								
1:10	14,5	20,3	29,0	40,6	58,0	79,9	116,0	160
1:9	11,9	16,6	23,8	33,2	47,6	65,4	95,2	130,8
1:8	9,5	13,3	19,0	26,6	38,0	52,3	76,0	104,6
1:7	7,4	10,3	14,8	20,6	29,6	40,7	59,2	81,4
1:6	5,5	7,8	11,0	15,6	22,0	30,5	44,0	61,0
1:5	4,0	5,5	8,0	11,0	16,0	21,8	32,0	43,6
1:4	2,6	3,7	5,2	7,4	10,4	14,5	20,8	29,0
1:3	1,6	2,2	3,2	4,4	6,4	8,8	12,8	17,6
1:2	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,4	8,8
1:1,5	0,5	0,6	1,0	1,2	2,0	2,4	4,0	4,8
1:1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	2,4	3,2
1,5:1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6
2:1	0,1	0,14	0,2	0,3	0,4	0,54	0,8	1,21
3:1	0,05	0,07	0,1	0,16	0,23	0,32	0,48	0,64
4:1	0,04	0,05	0,08	0,11	0,15	0,23	0,34	0,46
5:1	0,03	0,04	0,07	0,09	0,13	0,17	0,26	0,34

В табл. 5 даны величины глубины резко изображаемого пространства в зависимости от относительного отверстия объектива для съемки крупноформатными аппаратами (диаметр кружка рассеяния $z' = 1/10 \text{ мм}$).

Для определения глубины резко изображаемого пространства можно построить номограмму и пользоваться ею. Очень удобна номограмма с круговой шкалой, изложенная на рис. 4, дающая возможность определять глубину резкости для различных по величине диаметров кружка рассеяния. Круговая номограмма состоит из двух дисков. На большом неподвижном нижнем диске нанесены две шкалы: масштабов изображения и диафрагм, а на верхнем подвижном диске нанесены шкалы глубин резко изображаемого пространства и диаметров кружка рассеяния (нерезкости). Порядок работы с круговой номограммой следующий: вра-

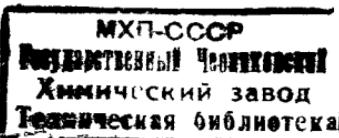


Таблица 5

Глубина резко изображаемого пространства при макросъемке
крупноформатными фотоаппаратами
($\sigma' = 0,1$ мм)

Масштаб изображения	Относительное отверстие							
	1:2	1:2,8	1:4	1:5,6	1:8	1:11	1:16	1:22
Глубина резко изображаемого пространства, мм								
1:10	44	61,6	88	123,2	176	242	352	484
1:9	36	50,4	72	100,8	144	198	288	396
1:8	28,8	40,3	57,6	80,6	115,2	158,4	230,4	316,8
1:7	22,4	31,4	44,8	62,7	89,6	123,2	179,2	246,4
1:6	16,8	23,5	33,6	47	67,2	92,4	134,4	184,8
1:5	12	16,8	24	33,6	48	66	96	132
1:4	8	11,2	16	22,4	32	44	64	88
1:3	4,8	6,7	9,6	13,4	19,2	26,4	38,4	52,8
1:2	2,4	3,4	4,8	6,7	9,6	13,2	19,2	26,4
1:1,5	1,5	2,1	3	4,2	6	8,3	12	16,5
1:1	0,8	1,12	1,6	2,2	3,2	4,4	6,4	8,8
1,5:1	0,44	0,6	0,89	1,2	1,8	2,4	3,6	4,8
2:1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,2	1,7	2,4	3,4
3:1	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	0,97	1,7	1,94
4:1	0,12	0,17	0,25	0,34	0,5	0,68	1,0	1,36
5:1	0,096	0,13	0,19	0,26	0,38	0,53	0,76	1,06

щая верхний диск относительно нижнего, сопоставляют шкалы заданного масштаба изображения со шкалой необходимой глубины резко изображаемого пространства. После этого прочитывают в вырезе верхнего диска значение диафрагмы против шкалы диаметров кружка рассеяния. В зависимости от стоящей перед фотографом задачи можно выбрать оптимальную диафрагму с учетом резкости снимка.

Можно поступить также наоборот: исходя из заданной диафрагмы и диаметра кружка рассеяния, определить глубину резко

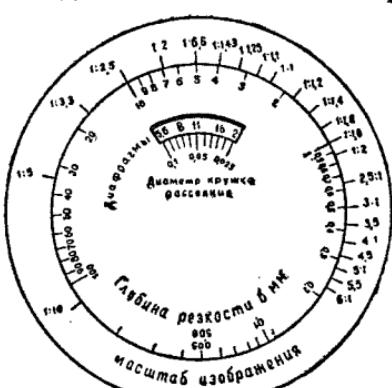


Рис. 4. Круговая номограмма для определения глубины резко изображаемого пространства при макросъемке

изображаемого пространства для любого масштаба изображения.

На прилагаемой к этой книге вкладке напечатаны два диска описанной номограммы. Читатель может, вырезав диски, сделать себе круговую номограмму и пользоваться ею в своей практической работе.

Определение правильной экспозиции при макросъемке производится с учетом изменения относительного отверстия в связи с большим выдвижением объектива.

Величины относительных отверстий, выгравированные на оправе объектива, являются отношением диаметров действующих отверстий объектива к фокусному расстоянию $\frac{d}{f}$. Нам необходимо теперь уточнить это соотношение, внеся поправку на выдвижение объектива.

Определение коэффициента увеличения выдержки производится по формуле

$$K = (m + 1)^2 \quad (15)$$

$$\text{или} \quad K = \left(\frac{1}{M} + 1 \right)^2, \quad (16)$$

где K — коэффициент увеличения выдержки.

Так как мы должны произвести съемку в масштабе 1 : 4, то коэффициент увеличения выдержки для нашего случая будет равен

$$K = \left(\frac{1}{4} + 1 \right)^2 = 1,56 \text{ (в полтора раза).}$$

В табл. 6 даны коэффициенты увеличения выдержки при съемке в масштабе от 1 : 10 до 5 : 1 по сравнению с вычисленной для случая установки объектива на «бесконечность».

Мы показали весь процесс расчетов, необходимых для выполнения макросъемки.

Таблицы могут служить для ориентировочного определения основных элементов макросъемки, так как приведенные данные вычислены для определенных фокусных расстояний. Однако в действительности величины фокусных расстояний объективов имеют отклонение от номинальных величин, обозначенных на оправе объектива. Если в каком-либо конкретном случае величина действительного фокусного расстояния не отличается от номинальной более чем на 2%, то можно пользоваться данными таблиц. В противном случае

Таблица 6

Коэффициенты увеличения выдержки в зависимости от масштаба фотографирования

Масштаб изображения	Коэффициент увеличения выдержки	Масштаб изображения	Коэффициент увеличения выдержки
1:10	1,11	1:2	2,25
1:9	1,23	1:1,5	2,8
1:8	1,26	1:1	4,0
1:7	1,30	1,5:1	6,25
1:6	1,35	2:1	9
1:5	1,44	3:1	16
1:4	1,56	4:1	25
1:3	1,78	5:1	36

необходимо самому фотолюбителю вычислить данные и составить таблицу для своего объектива.

Несколько слов следует сказать о влиянии светофильтра, установленного перед объективом, на фокусирование изображения при макросъемке. Если при фотографировании предметов, находящихся на значительном удалении от фотоаппарата, т. е. при обычной съемке, лучи света падают на светофильтр в виде параллельного пучка (рис. 5, а), то светофильтр практически не вносит никаких искажений в

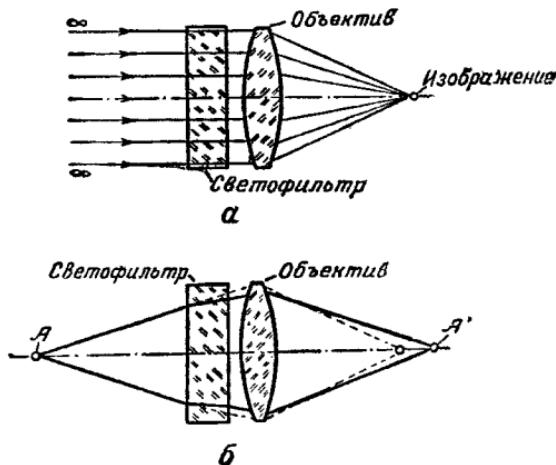


Рис. 5. Влияние светофильтра на фокусирование изображения при макросъемке

построение изображения объективом. Иное положение получается при макросъемке. В этом случае объект съемки расположен весьма близко от фотоаппарата и лучи света, идущие от каждой точки снимаемого предмета, направляются в объектив не в виде параллельного, а в виде расходящегося пучка. При этом светофильтр, представляющий собой плоскопараллельную стеклянную пластинку, будет оказывать влияние на ход лучей света, направляющихся в объектив (рис. 5, б), нарушая положение фокальной плоскости. Поэтому при работе со светофильтром при макросъемке необходим визуальный контроль наводки на резкость по матовому стеклу, а при отсутствии возможности визуального контроля наводки — выполнение пробных съемок.

ПРИМЕНЕНИЕ НАСАДОЧНЫХ ЛИНЗ

Если фотоаппарат допускает выдвижение объектива, необходимое только для фокусирования его не ближе 1 м, то для того, чтобы получить возможность фотографировать с меньших расстояний, можно применить положительные (собирающие) насадочные линзы (рис. 6).

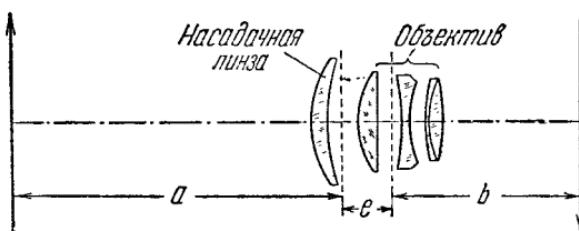


Рис. 6. Применение насадочной линзы перед объективом

Оптическая система, состоящая из объектива и положительной насадочной линзы, будет иметь меньшее фокусное расстояние, чем фокусное расстояние одного объектива, и, таким образом, позволит производить фотографирование с более близких расстояний при имеющемся выдвижении объектива.

Фокусное расстояние системы объектив + насадочная линза может быть определено по формуле

$$f_c = \frac{f_o f_a}{f_o + f_a - e}, \quad (17)$$

где f_c — фокусное расстояние системы объектив+насадочная линза (на рис. 6 оно обозначено b);

f_o — фокусное расстояние объектива;

f_a — фокусное расстояние насадочной линзы;

e — расстояние между задней главной плоскостью насадочной линзы и передней главной плоскостью объектива.

В тех случаях, когда насадочная линза устанавливается вплотную к передней линзе объектива, можно пользоваться упрощенной формулой:

$$f_c = \frac{f_o f_a}{f_o + f_a}. \quad (18)$$

Взяв, к примеру, положительную линзу с фокусным расстоянием 500 мм и поставив ее вплотную к объективу, имеющему фокусное расстояние 50 мм, мы получим фокусное расстояние системы объектив+насадочная линза:

$$f_c = \frac{500 \cdot 50}{500 + 50} = 45,454 \text{ мм.}$$

Другой способ определения фокусного расстояния системы объектив+насадочная линза состоит в том, что вместо величин фокусных расстояний объектива и насадочной линзы оперируют с величинами оптической силы линз, выражаемой в диоптриях. Линза, имеющая фокусное расстояние, равное 1 м, обладает оптической силой в 1 диоптрию. Оптическая сила любой линзы определяется из следующего соотношения:

$$D = \frac{1000}{f}, \quad (19)$$

откуда

$$f = \frac{1000}{D}. \quad (20)$$

Объектив, имеющий фокусное расстояние 50 мм, обладает оптической силой

$$D = \frac{1000}{50} = 20 \text{ диоптрий.}$$

Таким образом, для определения фокусного расстояния системы объектив+насадочная линза следует суммировать величины их оптической силы. Например, объектив имеет фокусное расстояние 50 мм, что составляет 20 диоптрий,

а насадочная линза имеет фокусное расстояние 500 мм., т. е. 2 диоптрии. Суммируя, получаем

$$20 + 2 = 22 \text{ диоптрии},$$

или

$$f_c = \frac{1000}{22} = 45,454 \text{ мм.}$$

С какого же расстояния мы можем производить съемку, если система объектив + насадочная линза имеет фокусное расстояние 45,454 мм?

В аппарате «Зоркий» объектив имеет наводку до 1 м и выдвигается на 2,63 мм, следовательно, сопряженное фокусное расстояние при полном выдвижении объектива будет $50 + 2,63 = 52,63$ мм.

По общезвестной формуле геометрической оптики $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$ мы можем вычислить расстояние от объектива до объекта съемки:

$$a = \frac{52,63 \cdot 45,454}{52,63 - 45,454} \approx 333 \text{ мм.}$$

Если же, применяя насадочную линзу, мы не будем пользоваться дополнительным выдвижением объектива, а установим его по шкале в положение «бесконечность», то расстояние от объектива до объекта съемки

$$a = \frac{50 \cdot 45,454}{50 - 45,454} = 500 \text{ мм.}$$

Следует отметить, что, применяя насадочные линзы, можно не пользоваться дополнительным выдвижением объектива, а установить его на шкале в положение на «бесконечность». В этом случае подбор насадочных линз значительно упрощается, так как фокусное расстояние насадочной линзы будет равно расстоянию от линзы до плоскости наводки.

Это вполне закономерно. Из геометрической оптики известно, что пучок расходящихся лучей, исходящий из точки, лежащей в плоскости фокуса линзы, после прохождения линзы становится параллельным пучком. Этот параллельный пучок затем поступает в объектив и сфокусируется в фокальной плоскости объектива.

Таким образом, если объектив наведен на «бесконечность», то задачей насадочной линзы является так направить лучи, идущие от близко расположенных объектов съем-

ки, чтобы они падали на объектив параллельными пучками, как бы исходящими из «бесконечности».

Это достигается в том случае, когда объект располагается перед насадочной линзой на расстоянии, равном ее фокусному расстоянию f .

Такой способ подбора и применения насадочных линз удобен тем, что одна и та же линза пригодна для фокусирования на одно и то же расстояние объективов разных фокусных расстояний. Это особенно важно при работе с двухобъективными фотоаппаратами, как, например, «Любитель».

Насадочные линзы ухудшают коррекцию объектива, что сильно отражается на качестве фотографического изображения. Поэтому, чтобы получать удовлетворительные результаты с самодельными насадочными линзами, необходимо не только подбирать линзу с соответствующим фокусным расстоянием, но также выбирать наиболее подходящие радиусы кривизны и сорт стекла. Насадочные линзы, изготавляемые промышленностью по специальному расчету для определенных объективов, обеспечивают хорошее качество снимков.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МАКРОСЪЕМКИ

Наилучшим образом макросъемка может быть выполнена в лабораторных условиях, когда имеется возможность применить специальную аппаратуру.

На рис. 7 и 8 показаны две установки для макросъемки. Первая предназначается для фотографирования на крупноформатные пластиинки и пленки, а вторая — для фотографирования малоформатными фотоаппаратами типа «ФЭД», «Зоркий», «Киев», «Зенит» и «Старт» с применением устройства для наводки по матовому стеклу (см. рис. 15).

Установки для макросъемки состоят из следующих основных частей:

штанги с кронштейнами для перемещения фотоаппарата вверх и вниз, соединенных раздвижным мехом;

предметного столика для укладки объектов съемки перед объективом фотоаппарата;

осветительных приборов, обеспечивающих освещение объекта съемки как направленным, так и рассеянным светом, а также освещение фона.

Все это оборудование скомплектовано так, чтобы обеспе-

чить наибольшее удобство работы. Фотографический затвор может быть как центральный, так и шторный.

Процесс работы на стационарной установке сводится к следующему: на предметный столик установки кладется

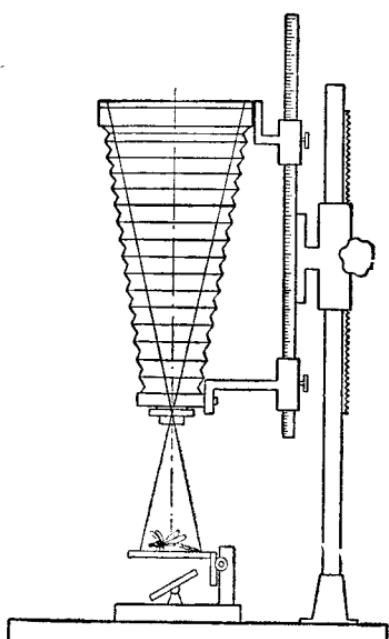


Рис. 7. Установка для макро-съемки на крупноформатные пластины и пленки

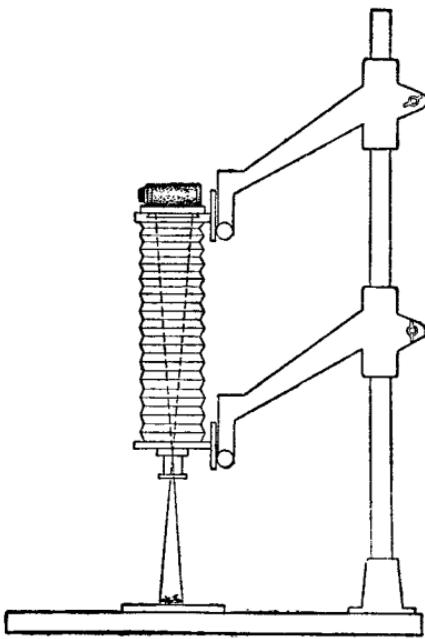


Рис. 8. Установка для макро-съемки малоформатными фотоаппаратами

объект съемки и устанавливается необходимое освещение объекта. Затем, в зависимости от требуемого масштаба съемки, по табл. 3 определяется расстояние между плоскостью светочувствительного слоя и плоскостью наводки, и камера устанавливается по шкале, имеющейся на штативе, в нужное положение. После этого производится точное фокусирование объектива по матовому стеклу. Далее уточняется расположение объекта перед аппаратом, проверяется освещение и окончательно кадрируется изображение. По табл. 4 и 5 определяется необходимое диафрагмирование объектива для достижения требуемой глубины резко изображаемого пространства и устанавливается диафрагма. При помощи

фотоэлектрического экспонометра может замеряться как освещенность, так и яркость объекта съемки и определяться правильная экспозиция с учетом коэффициента увеличения выдержки в зависимости от масштаба изображения.

После выполнения всех подготовительных работ производится фотографирование.

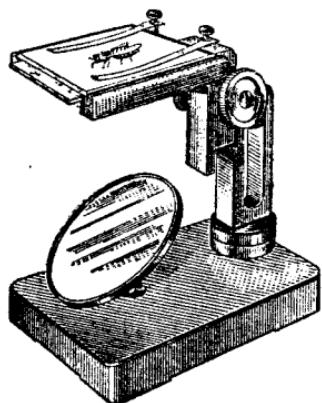


Рис. 9. Предметный столик для макросъемки

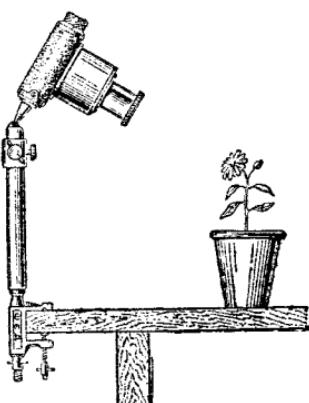


Рис. 10. Штатив-струбцина для макросъемки

При макросъемке большое значение имеет бестеневое освещение объекта и отделение объекта от фона. И то и другое достигается применением предметного столика со стеклом (рис. 9). Объект съемки укладывается на прозрачную стеклянную пластинку столика и тем самым отделяется от фона. При этом можно применять любой вид освещения — направлением светом, выявляющим фактуру объекта съемки, или рассеянным и избежать образования теней, которые в большинстве случаев макросъемки нежелательны, так как мешают выявлению формы объекта. Предметный столик допускает применение подсвета снизу.

В условиях натурной макросъемки во время экспедиций, путешествий и т. п. применяют штатив-струбцину «ФЭД» с небольшой дополнительной штангой (рис. 10). Струбцина штатива закрепляется на доске стола, ящике или на другом предмете, а фотоаппарат навинчивается на шаровую головку. Расстояние до объекта съемки замеряется при помощи линейки. В зависимости от расстояния до объекта применяются различной длины дополнительные тубусы, обеспечивающие необходимое увеличение изображения.

вающие необходимое выдвижение объектива. В качестве предметного столика может быть применено обычное стекло, приподнятое над фоном.

Для дополнительного освещения объекта съемки используются зеркальные подсветы или небольшие листы белой бумаги.

МАКРОСЪЕМКА ФОТОАППАРАТАМИ «ФЭД», «ЗОРКИЙ», «КИЕВ»

Фотоаппараты «ФЭД», «Зоркий», «Киев» не рассчитаны для фотографирования мелких объектов в крупном масштабе. Оправы объективов у них допускают фокусирование на дистанцию не ближе 1 м. Кроме того, эти фотоаппараты не имеют наводки по матовому стеклу, а она очень нужна при макросъемке для точного визирования и фокусирования изображения. Однако имеются пути приспособления фотоаппаратов типа «ФЭД», «Зоркий», «Киев» также и для макросъемки.

Чтобы получить возможность фокусировать объектив на дистанции ближе 1 м, можно применить два способа. Первый способ заключается в том, что между камерой и объективом дополнительно ввинчиваются еще кольца. К каждому объективу можно изготовить необходимые кольца разной длины, чтобы осуществить фокусирование на любые дистанции. Длины колец можно рассчитать по формуле (7) или (8) или взять ориентировочные данные из табл. 2 (рис. 11).

Второй способ фокусирования объектива на близкие расстояния (см. стр. 21) основан на применении насадочных линз.

Промышленностью выпускаются насадочные линзы для объективов «Юпитер-3» и «Юпитер-8» $f=52,4$ мм. Комплект состоит из двух линз: 1 и 2 диоптрии. С применением этих двух линз можно производить съемку в масштабе от 1 : 20 до 1 : 6 с расстояний от 1,1 до 0,4 м. Расчетные данные для съемки с применением насадочных линз приведены в табл. 7.

Применение насадочных линз несколько ухудшает качество изображения, поэтому при съем-



Рис. 11. Набор промежуточных колец (тубусов) для макросъемки фотоаппаратами «ФЭД», «Зоркий», «Зенит»

Таблица 7

Расчетные данные для макросъемки фотоаппаратами «ФЭД», «Зоркий», «Киев» с применением насадочных линз

Оптическая сила насадочной линзы, в диоптриях	Установка объектива по шкале	Расстояние от плоскости наводки до плоскости изображения, мм	Масштаб изображения	Формат в плоскости наводки, мм
1	∞	1095	1:19,4	446×679
1	1 м	562	1:8,9	205×312
2	∞	577	1:9,6	921×336
2	1 м	401	1:6	138×210

ке с насадочными линзами рекомендуется диафрагмировать объектив более обычного.

Шкала диафрагмы объектива сохраняет свое значение независимо от оптической силы насадочной линзы и получаемого при этом масштаба изображения.

Однако ввиду того, что насадочные линзы нарушают коррекцию объектива, вызывая даже при значительном диафрагмировании ухудшение качества изображения, целесообразно отдать предпочтение первому способу, т. е. применению промежуточных колец, ввинчиваемых между камерой и объективом. Нашей промышленностью выпускается набор таких колец высотой 5, 8, 16 и 26 мм. Этот комплект позволяет производить съемки в масштабах от 1 : 10 до 1 : 1.

В табл. 8. приводятся расчетные данные для макросъемки с промежуточными кольцами в масштабах от 1 : 10 до 1 : 1 объективами «Индустар-22» и «Юпитер-8», имеющими фокусное расстояние 52,4 мм.

Для точной установки фотоаппарата перед объектом съемки применяются специальные приспособления. На рис. 12 показано несложное устройство, позволяющее производить установку аппарата без применения наводки по матовому стеклу. Это приспособление, получившее название «Фокгад», представляет собой цилиндр, изготовленный из органического стекла. Цилиндр надевается на оправу объектива фотоаппарата. Для кадрирования объекта съемки и наводки его на резкость необходимо установить фотоаппарат с «Фокгадом» так, чтобы объект целиком находил-

Таблица 8

Расчетные данные для макросъемки малоформатными фотоаппаратами на размер кадра 24×36 мм с применением промежуточных колец и объективов «Индустар-22» и «Юпитер-8» ($f=52,4$ мм)

Высота про- межуточного кольца, мм	Установочное рас- стояние D (при уста- новке объектива по шкале на ∞), мм		Масштаб изобра- жения	Охват про- странства в плоскости наводки, мм	Коэффи- циент увеличе- ния вы- держки
	для объек- тива «Ин- дустан-22»	для объек- тива «Юпи- тер-8»			
5	658	663	1:10	240×360	1,1
8	447	452	1:6,6	158×238	1,4
16	275	282	1:3,3	79×119	1,9
26	209	215	1:2	48×72	2,3
16+26	169	174	1:1,2	29×43	3,4
5+8+16+26	154	159	1:1	24×36	4,0

ся внутри цилиндра и не выходил из плоскости его наружного края.

Чтобы получить возможность фотографировать в разных масштабах, необходимо изготовить цилиндры разной длины. Обычно «Фоккад» применяется для фотографирования в масштабах $1:0,5; 1:1$ и $1:1,5$.

Второе устройство изображено на рис. 13; оно представляет собой кронштейн, прикрепленный к фотоаппарату, с проволочной рамкой, определяющей границы кадра.

Описанные приспособления можно изготовить самому, предварительно произведя для этого необходимые расчеты (см. стр. 11).

Эти устройства не обес-

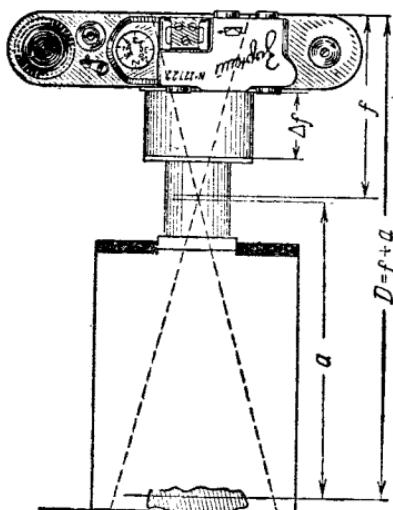


Рис. 12. «Фоккад»

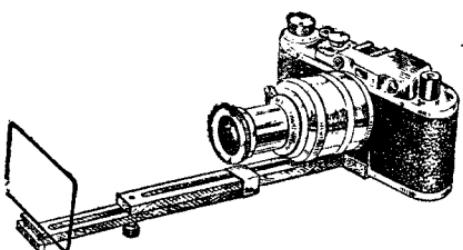


Рис. 13. Устройство для кадрирования объекта съемки

при использовании малоформатных фотоаппаратов «ФЭД», «Зоркий», «Киев» производить кадрирование и фокусирование изображения по матовому стеклу.

Принцип устройств первого типа заключается в том, что объектив фотоаппарата закрепляется на штативе, а камерная часть фотоаппарата на время кадрирования и фокусирования изображения заменяется специальной приставкой с матовым стеклом, при этом матовое стекло располагается точно в той же плоскости, в которой находилась плоскость светочувствительного слоя пленки в фотоаппарате.

Наиболее простое устройство этого типа приспособлений изображено на рис. 14. Оно состоит из переходной оправы 1, в которую с одной стороны вставляется объектив 2, а с другой стороны навинчивается приспособление с матовым стеклом 3 или камерная часть фотоаппарата. Объектив и приспособление с матовым стеклом, укрепленные на переходной оправе, закрепляются на штативе перед объектом съемки. Изображение объекта кадрируется и фокусируется по матовому стеклу. После этого приспособление с матовым стеклом заменяется камерной частью фотоаппарата и производится фотографирование. Устройство этого типа подробно описано в журнале «Советское фото» № 9 за 1957 г.

Чтобы обеспечить необходимое выдвижение объектива, применяются промежуточные кольца.

Для лучшего рассматрива-

ния в полной мере всех требований макросъемки. В большом числе случаев, встречающихся в практике, необходимо кадрировать и фокусировать изображение по матовому стеклу.

Известны два типа устройств, позволяющих

запечатлеть изображение по матовому стеклу.

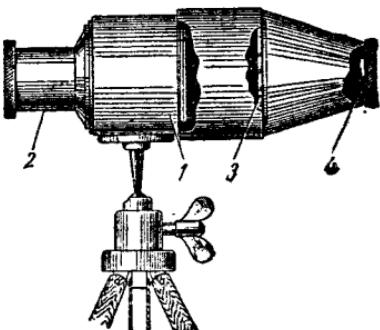


Рис. 14. Устройство для наводки по матовому стеклу с заменой его фотоаппаратом

ния изображения при фокусировании объектива позади стекла устанавливается лупа 4.

Другая конструкция устройства первого типа показана на рис. 15. Она состоит из двух металлических планок. Одна из них — основная, закрепляемая на штативе, в ней

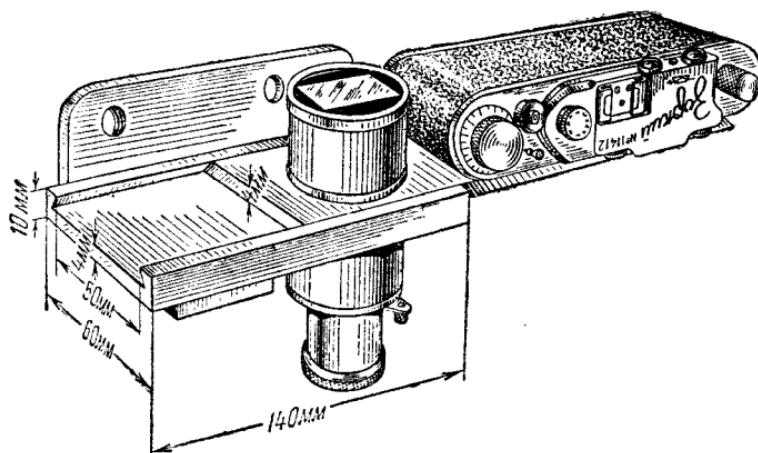


Рис. 15. Устройство для наводки по матовому стеклу с передвижной планкой

имеется отверстие, против которого установлен объектив. С задней стороны основной планки имеются пазы, в которых перемещается вторая планка с двумя отверстиями. Против одного из отверстий установлено приспособление с матовым стеклом и лупой, а против другого специальным кольцом крепится камерная часть фотоаппарата. Плоскости пленки и матового стекла точно совпадают.

Для кадрирования и фокусирования изображения задняя подвижная планка перемещается в пазах основной так, чтобы против объектива встало приспособление с матовым стеклом. После того как наводка произведена, вторая планка передвигается в положение, при котором против объектива устанавливается камерная часть фотоаппарата. Далее производится съемка.

В зависимости от масштаба фотографирования применяются соответствующей длины промежуточные кольца.

Вариант устройства для фокусирования по матовому стеклу дан на рис. 16. Здесь также имеется основная неподвижная планка, в которой укреплен объектив, и вторая —

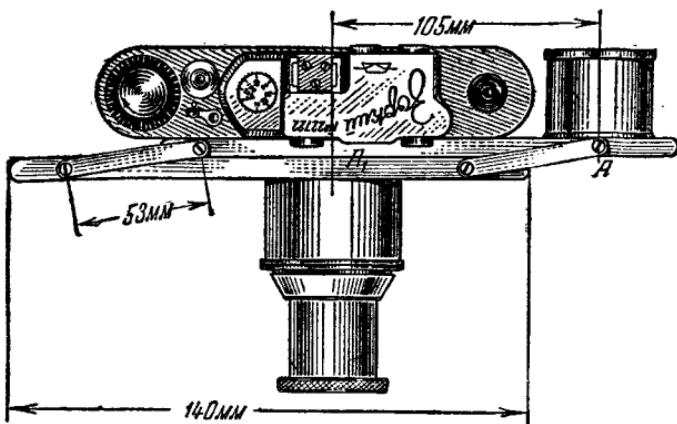


Рис. 16. Устройство для наводки по матовому стеклу с перекидной планкой

подвижная планка с двумя отверстиями. Против одного отверстия закрепляется камерная часть фотоаппарата, а против другого — приспособление с матовым стеклом. Особенность этой конструкции заключается в том, что передвижение второй планки осуществляется посредством перекидывания ее на рычагах из одного положения в другое.

На рис. 17 показано третье устройство, отличающееся только тем, что планки здесь заменены двумя дисками. Нижний — основной диск неподвижен, он закрепляется на

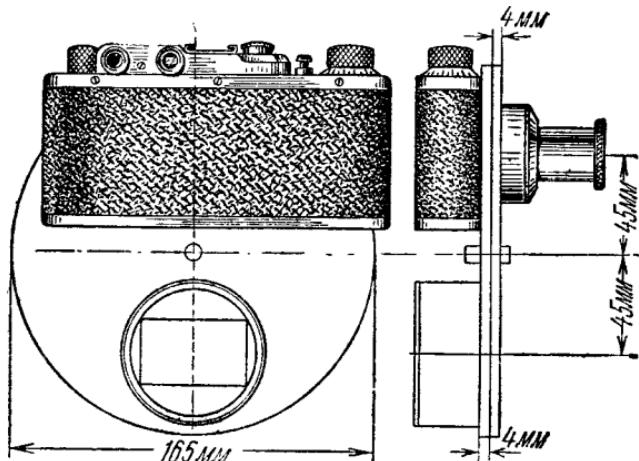


Рис. 17. Устройство для наводки по матовому стеклу с двумя дисками

штативе, на нем же закреплен объектив. Второй диск вращается на оси, проходящей через центры дисков. Поворачивая верхний диск, можно установить против объектива либо приспособление с матовым стеклом и лупой, либо камерную часть фотоаппарата.

Устройства другого типа для макросъемки малоформатными фотоаппаратами основаны на принципе зеркальной фотокамеры. Зеркальная камера с матовым стеклом и лупой для облегчения точного фокусирования объектива по изображению на матовом стекле располагается между камерной частью фотоаппарата и объективом.

МАКРОСЪЕМКА ФОТОАППАРАТАМИ «ЗЕНИТ» И «СТАРТ»

Фотоаппараты «Зенит» и «Старт» наиболее удовлетворяют требованиям макросъемки, так как позволяют визировать и фокусировать изображение по матовому стеклу. Общий вид фотоаппарата «Зенит» приведен на рис. 18. Этот фотоап-

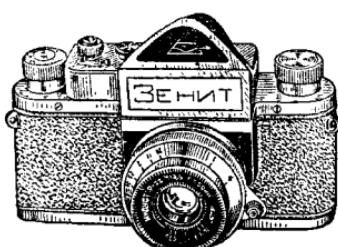


Рис. 18. Фотоаппарат «Зенит»

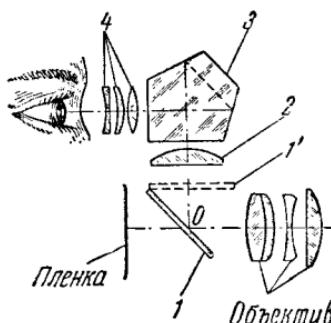


Рис. 19. Схема устройства зеркального видоискателя фотоаппарата «Зенит»

парат рассчитан на 35-мм кинопленку. Размеры кадра 24×36 мм. Затвор шторный с выдержками от $1/25$ до $1/500$ сек. и В (выдержка от руки).

Особенностью конструкции фотоаппарата «Зенит», делающей его особенно пригодным для макросъемки, является оптическое устройство зеркального видоискателя, схематически изображенное на рис. 19.

Зеркальный видоискатель состоит из откидывающегося зеркала 1, плоско-выпуклой линзы 2, плоская поверхность

которой является матовым стеклом, пятигранной призмы, так называемой пента-призмы 3 и трехлинзового окуляра 4. При откинутом вверх зеркале 1' объектив фотоаппарата образует действительное изображение снимаемого предмета на пленке. При опущенном же зеркале 1 изображение получается не на пленке, а на матовой плоской поверхности линзы 2, так как опущенное зеркало 1 направляет идущие от объектива лучи света в сторону линзы 2. Сумма расстояний от любой точки поверхности зеркала до матовой плоской поверхности линзы 2 и от этой же точки зеркала до задней главной плоскости объектива всегда равна расстоянию от задней главной плоскости объектива до плоскости пленки. Поэтому если изображение на матовой плоской поверхности линзы 2 получается резким, то оно будет резким и на плоскости пленки, когда зеркало 1 будет в положении 1'.

Если на плоскости пленки изображение предмета получается перевернутым, то рассматриваемое через окуляр и пента-призму изображение будет прямым, что как раз очень удобно для визирования и фокусирования изображения по матовому стеклу.

Таким образом, при макросъемке фотоаппаратом «Зенит» нет необходимости в дополнительных приспособлениях для наводки по матовому стеклу: такое устройство имеется в самом аппарате.

Фотоаппарат «Старт» (рис. 20) является дальнейшим развитием фотоаппарата «Зенит». Он рассчитан также на 35-мм кинопленку. Формат кадра 24×36 мм. Шторный затвор имеет диапазон выдержек от 1 до $1/1000$ сек. Оптическая схема фотоаппарата «Старт» такая же, как у фотоаппарата «Зенит», но размеры матового стекла несколько увеличены.

Кроме того, в центре матового стекла, или, точнее, матированной коллективной линзы 2 (см. рис. 19), находится фокусировочное устройство, состоящее из двух пересекающихся прозрачных клиньев, врезанных в матированную поверхность. Линия пере-

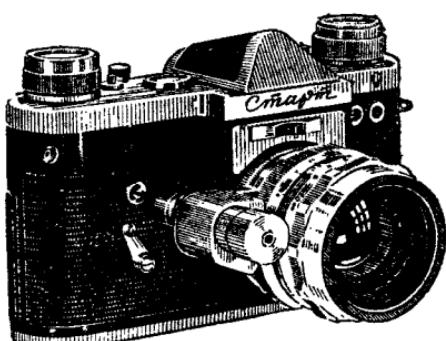


Рис. 20. Фотоаппарат „Старт“

сечения клиньев точно совпадает с матированной поверхностью. Схема устройства и принцип действия фокусировочного устройства показаны на рис. 21. Если объектив фотоаппарата наведен на резкость недостаточно точно и изображение будет сфокусировано впереди или позади матового стекла, то в поле дальномера изображение будет видно как бы разрезанным и обе половинки его будут смешены в стороны. При точной установке объектива на резкость изображения объекта, видимые через обе прizмы, совместятся.

Фокусировочное устройство особенно удобно при макросъемке, так как оно не связано никакими рычагами с механизмом выдвижения объектива и нормально действует в сочетании с любыми объективами и любыми переходными кольцами для дополнительного выдвижения объектива.

При наводке на резкость только по матовому стеклу бывает трудно точно выбрать плоскость наводки в пределах глубины резко изображаемого пространства; фокусировочное устройство дает возможность произвести более точную наводку объектива. При съемке некоторых объектов, не имеющих резких контуров, этим устройством воспользоваться нельзя, тогда приходится производить наводку на резкость по матовому стеклу. Изображение на матовом стекле, за исключением круга, занятого клиньями фокусировочного устройства, сохраняется полностью.

Фокусировочным устройством можно пользоваться только при относительных отверстиях не менее 1 : 5,6. При меньших отверстиях вместо изображений в поле клиньев видно только темное пятно. Это происходит потому, что выходной зрачок системы расходится на два полуконуса, а расстояния между краями этих полуконусов при маленьких

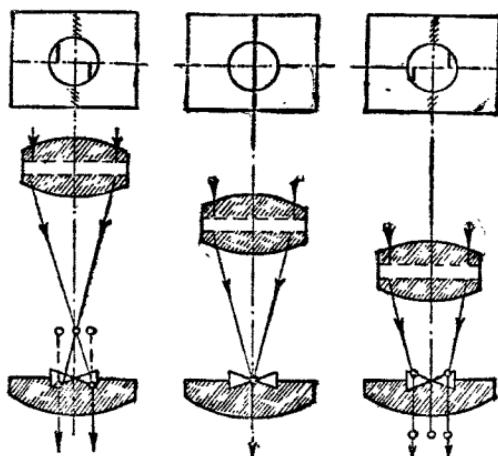


Рис. 21. Схема устройства и принцип действия фокусировочного устройства фотоаппарата „Старт”

отверстиях диафрагмы объектива оказываются больше глазного зрачка. Поэтому при пользовании фокусировочным устройством необходимо предварительно открыть диафрагму, а после наводки на резкость, перед съемкой, поставить нужную диафрагму для получения заданной глубины резко изображаемого пространства. У фотоаппарата «Старт» имеется устройство, которое автоматизирует процесс открывания и закрывания диафрагмы до установленной величины. Однако это устройство может действовать только при отсутствии переходных колец, которые применяются при макросъемке для дополнительного выдвижения объектива. Основной объектив, которым комплектуется фотоаппарат «Старт», — «Гелиос-44» — имеет фокусное расстояние 58 мм и относительное отверстие 1 : 2. Оправа объектива дает возможность снимать объекты, находящиеся на расстоянии от 0,7 м до ∞ , т. е. до масштаба 1 : 12 без промежуточных колец.

Объектив на фотоаппарате «Старт» крепится при помощи накидной байонетной гайки, позволяющей быстро производить смену объективов и не требующей ввинчивания объектива. Байонетное крепление объектива на аппарате «Старт» допускает крепление сменных объективов от аппарата «Зенит» при помощи специального переходного кольца, несмотря на то, что объективы к аппарату «Зенит» имеют резьбовое крепление. Высота переходного кольца составляет 3,2 мм.

Ввиду того, что фотоаппарат «Старт» наиболее удобен для специальных видов съемки, его предполагается оснастить приспособлениями для макро-, микро-, репродукционной и других видов съемки. Одним из наиболее важных и целесообразных приспособлений этого рода является раздвижной тубус для макросъемки, аналогичный имеющемуся для фотоаппаратов «Экзакта» и «Практика», изготовленных в ГДР. На рис. 22 показан раздвижной тубус для макросъемки, установленный на фотоаппарате «Практика».

Рис. 22. Раздвижной тубус для макросъемки, установленный на фотоаппарате «Практика».

МАКРОСЪЕМКА ПЛАСТИНОЧНЫМИ ФОТОАППАРАТАМИ «ФОТОКОР-1» И «МОСКВА-3»¹

Фотоаппарат «Фотокор-1» для пластинок 9×12 см имеет двойное растяжение меха камеры и наводку на резкость по изображению на матовом стекле. Без каких-либо дополнительных приспособлений он позволяет производить макросъемку в масштабе до 1 : 1.

Фотоаппарат «Москва-3», предназначенный для формата пластинок $6,5 \times 9$ см, имеет наводку по изображению на матовом стекле, но не имеет двойного растяжения меха камеры. Макросъемка этим фотоаппаратом без специальных приспособлений невозможна.

Наиболее простой способ приспособить фотоаппарат с одинарным растяжением меха камеры для макросъемки — это применить насадочные линзы, которые можно рассчитать по формуле (17), приведенной на стр. 21. При этом несколько снизится качество изображения, так как насадочные линзы ухудшают коррекцию объектива. Объективы с насадочными линзами, подобранными самим фотографом, дают достаточно качественный рисунок только в центральной части поля изображения.

Второй путь приспособления пластиночных фотоаппаратов, являющийся, по нашему мнению, наиболее правильным, заключается в применении специальной приставки, увеличивающей растяжение камеры.

Такая приставка может быть изготовлена самим фотографом или по его заказу механиком по фотоаппарату. Своей передней частью приставка крепится к фотоаппарату вместо кассеты, а задняя ее часть приспосабливается для установки рамки с матовым стеклом или кассеты. Целесообразно располагать двумя или тремя такими приставками для различного увеличения длины камеры или же изготовить одну раздвижную приставку, аналогичную изображенной на рис. 23. При наличии такой приставки отпадают все ограничения, предусматривающие применение насадочных линз.

Макросъемка пластиночными фотоаппаратами должна производиться со штатива или на специальном станке. Шта-

¹ Хотя в настоящее время эти аппараты не выпускаются, но так как значительное количество их находится на руках у фотографов, мы сочли целесообразным сохранить данное описание.

тив должен быть достаточно устойчивым, чтобы исключить возможность сдвига аппарата при замене матового стекла кассетой и предотвратить вибрацию аппарата при съемке с длительной выдержкой.

Так как снимки, сделанные фотоаппаратами «Фотокор-1» и «Москва-3», как правило, предназначаются для контактной печати, то при определении глубины резко изображаемого пространства следует пользоваться табл. 5, рассчитанной для диаметра кружка рассеяния 0,1 мм.

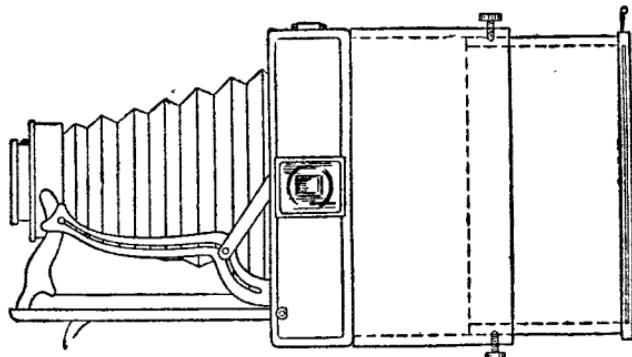


Рис. 23. Раздвижная приставка к пластиночному фотоаппарату «Москва-3» для удлинения камеры

Фотосъемка может производиться как на пластинках или форматных плоских пленках, так и на роликовых пленках. Обработка производится обычным порядком (см. вып. 3 «Библиотеки фотолюбителя»).

МАКРОСЪЕМКА ПЛЕНОЧНЫМИ ФОТОАППАРАТАМИ «МОСКВА»

Пленочные фотоаппараты типа «Москва» имеют одинарное растяжение меха с фокусированием объектива на дистанции не ближе 1,5 м. Кроме того, такие фотоаппараты не имеют наводки по изображению на матовом стекле.

Несмотря на это, фотоаппаратами «Москва» все же можно производить съемку в крупном масштабе путем применения насадочных линз и несложного приспособления в виде проволочной рамки для кадрирования объекта съемки.

Насадочные линзы к фотоаппаратам «Москва» выпускаются промышленностью. Комплект состоит из пяти насад-

доочных линз: 1,5; 2,5; 3; 4 и 5 диоптрий. С помощью этих линз можно производить съемку в различных масштабах в пределах от 1 : 6 до 1 : 1,9, при изменении расстояния от снимаемого предмета до объектива в пределах от 68 до 21 см. Ниже приводим таблицу необходимых расчетных данных.

Таблица 9

**Расчетные данные для макросъемки фотоаппаратами «Москва»
с применением насадочных линз**
(при установке объектива на ∞)

Оптическая сила наса- дочной лин- зы (в диоп- триях)	Расстояние от плоскости на- водки до перед- ней поверхности насадочной линзы, см	Масштаб изображения	Формат в плоскости наводки, см
при объективе $f = 110 \text{ мм}$			
1,5	68	1:6,2	36×54
2,5	41	1:3,7	22×33
3,0	34	1:3,0	18×28
4,0	26	1:2,3	14×21
5,0	21	1:1,9	11×17
при объективе $f = 105 \text{ мм}$			
1,5	68	1:6,4	38×57
2,5	41	1:3,8	23×35
3,0	34	1:3,3	19×29
4,0	26	1:2,4	15×22
5,0	21	1:2,0	12×18

При съемке с насадочной линзой нельзя пользоваться дальномером, видоискателем фотоаппарата и шкалой глубины резкости, указанной на объективе.

Глубину изображаемого пространства можно определить по табл. 5 на стр. 18 или с помощью номограммы, изображенной на рис. 4.

Шкала диафрагмы сохраняет свое значение независимо от оптической силы насадочной линзы и получаемого при этом масштаба изображения, так как фотоаппараты «Москва» имеют одинарное растяжение меха камеры.

После того как линза будет прикреплена к объективу фотоаппарата, целесообразно произвести пробную съемку для уточнения расстояния от объектива до объекта съемки. Такую пробную съемку можно произвести на столе. Для этого устанавливают перед фотоаппаратом, как это пока-

зано на рис. 24, несколько табличек с четко нарисованными черной тушью номерами. Одну табличку ставят точно на расчетном расстоянии, а другие несколько ближе и дальше, но так, чтобы все таблички были видны на снимке. Съемку нужно производить при максимальном отверстии объектива. После проявления негатива, пользуясь лупой, проверяют резкость изображенных на нем табличек и уточняют расстояние, на которое сфокусирован объектив насадочной линзой.

Для кадрирования изображения нужно изготовить проволочную рамку и укрепить ее при помощи раздвижной рейки на фотоаппарате, как показано на рис. 13. Рейку можно

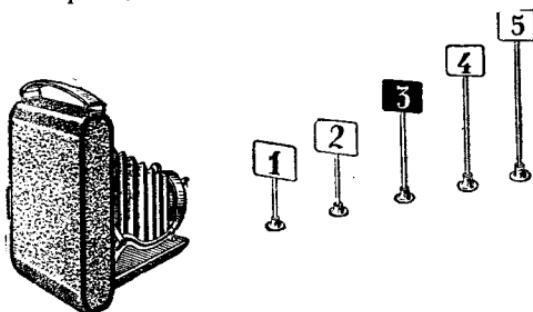


Рис. 24. Схема съемки для проверки фокусировки объектива на близкое расстояние

закрепить винтом на отверстии с резьбой, предназначенным для крепления фотоаппарата на штативе. Правильность расположения проволочной кадрирующей рамки следует проверить на незаряженном пленкой аппарате, сняв заднюю крышку камеры, открыв объектив и приложив к кадровой рамке матовое стекло или матовую пленку. Такой простой способ проверки визирования по матовому стеклу в данном случае вполне пригоден.

МАКРОСЪЕМКА ФОТОАППАРАТОМ «ЛЮБИТЕЛЬ»

Фотографирование мелких предметов в крупном масштабе может производиться, хотя и с некоторыми ограничениями, также и фотоаппаратами типа «Любитель».

Этот фотоаппарат имеет зеркальный видоискатель со вторым объективом, при помощи которого производится кадрирование и фокусирование изображения. Объектив зеркаль-

ногого видоискателя и объектив съемочной камеры наводятся на фокус одновременно, поэтому если на матовом кружочке зеркального видоискателя изображение оказывается резким, то и на пленке в съемочной камере оно также будет резким.

К недостаткам зеркального видоискателя относится пространственный параллакс, который выявляется при съемках с близких расстояний, и особенно при макросъемке. Действие пространственного параллакса показано на рис. 25; оно вызвано тем, что объектив зеркального видоискателя и объектив съемочной камеры расположены на

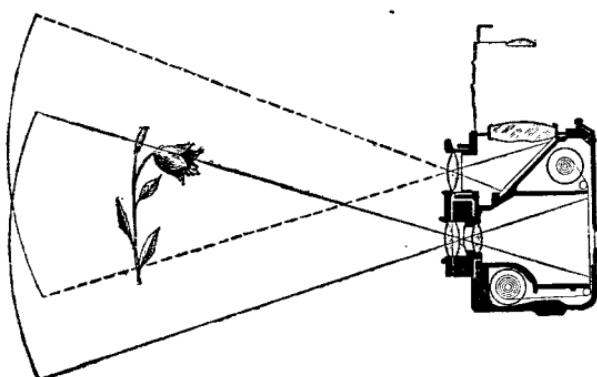


Рис. 25. Действие параллакса при кадрировании изображения с помощью зеркального видоискателя двухобъективного фотоаппарата

некотором расстоянии друг от друга. Это значит, что пользоваться зеркальным видоискателем, как при обычном фотографировании, при макросъемке нельзя. Необходимо перемещать аппарат из положения для наводки по зеркальному видоискателю в положение для съемки.

Фокусирование объективов фотоаппарата «Любитель» на близкие расстояния можно осуществлять путем последовательной установки на них одной и той же насадочной линзы.

Сначала насаживают линзу на объектив видоискателя и, пользуясь лупой, наводят на фокус по изображению на матовом кружке, а затем, не изменяя найденной установки фотоаппарата, переносят линзу на объектив.

Для фотоаппарата «Любитель» промышленностью выпускаются насадочные линзы различной оптической силы.

Зависимость между оптической силой насадочной линзы, масштабом изображения и расстоянием от передней стенки фотоаппарата до объекта съемки приведена на рис. 26 (номограмма), на которой кривые нанесены парами: для объектива, установленного по шкале расстояний на ∞ («бесконечность»), — верхние кривые и на 1,3 м — нижние кривые.

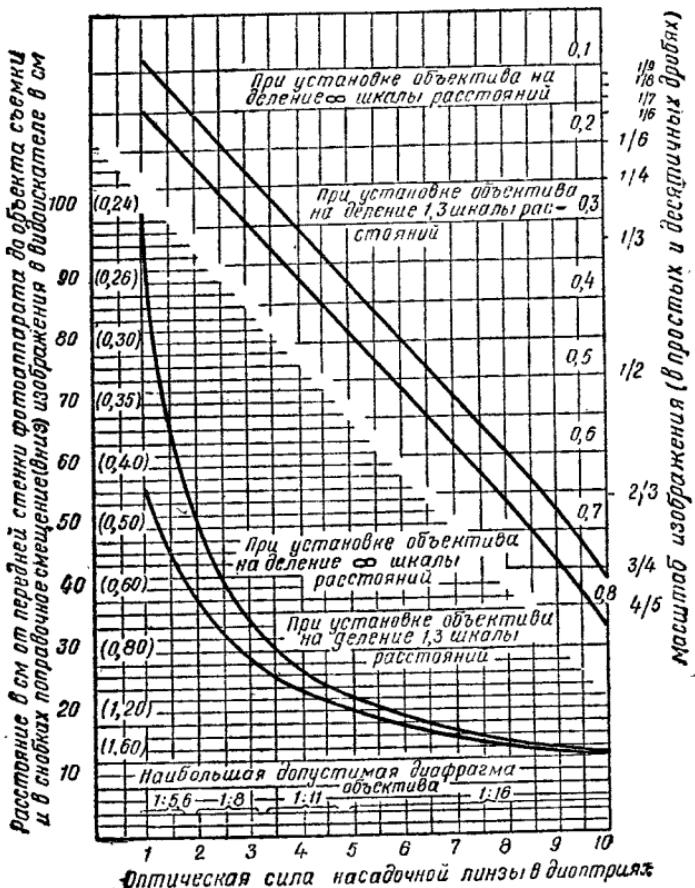


Рис. 26. Номограмма для определения установочных данных при макросъемке фотоаппаратом „Любитель“

Порядок определения необходимых данных для макросъемки следующий:

допустим, что мы имеем насадочную линзу с оптической силой 2,5 диоптрии; на горизонтальной оси находим отметку, соответствующую оптической силе насадочной лин-

зы — 2,5 диоптрии. Поднимаясь от этой отметки вверх по вертикали, встречаем первую кривую расстояний от **объекта съемки** до передней стенки фотоаппарата на высоте, соответствующей 33 см, а вторую — на высоте, соответствующей 42 см. Поднимаясь еще выше, пересекаем две наклонные линии масштабов изображения: первую — в точке, соответствующей масштабу, примерно $1/3,7$, а вторую — в точке, соответствующей масштабу $1/6$. Это значит, что, установив на объектив фотоаппарата «Любитель» насадочную линзу с оптической силой в 2,5 диоптрии, мы можем получить снимки в масштабе $1/6$ (при фокусировке объектива по шкале расстояний на ∞) или в масштабе $1/3,7$ (при фокусировке объектива по шкале расстояний на 1,3 м). Объект съемки должен находиться на расстояниях соответственно 42 или 33 см от передней стенки фотоаппарата.

Так как при полном отверстии объектива насадочная линза ухудшает резкость, то объектив необходимо диафрагмировать. Рекомендуемые диафрагмы указаны внизу номограммы.

Для устранения пространственного параплакса необходимо, чтобы съемочный объектив фотоаппарата «Любитель» располагался на высоте центра объекта съемки и чтобы изображение этого центра было соответственно смещено в видоискателе вниз. Величины необходимых смещений указаны цифрами в скобках, рядом с цифрами расстояний, по левому краю номограммы.

Пересчитывая выдержки на различные диафрагмы, надо иметь в виду, что у фотоаппарата «Любитель», как и у всех аппаратов, фокусирующихся передвижением передней линзы объектива, шкала диафрагм сохраняет свое значение независимо от оптической силы насадочной линзы.

ОСВЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИ МАКРОСЪЕМКЕ

Освещение объектов при макросъемке имеет целью не только создать необходимую освещенность для получения нормально экспонированного негатива, но также выявить с максимальной выразительностью форму и характер поверхности фотографируемого предмета.

В приложениях 2 и 3 приведены два снимка одного и того же предмета, сфотографированного при различном освещении. Снимок 2 сделан при прямом (лобовом) освещении

двумя лампами с молочным стеклом, а снимок 2 — при боковом освещении посредством специального кольцевого осветителя. Как мы видим, этот второй снимок наиболее полно передает характер поверхности фотографированной металлической детали, в то время как первый снимок воспроизводит лишь общую форму предмета.

Ввиду того что макросъемка производится при сильно задиафрагмированном объективе, необходимо достичь весьма значительной величины освещенности объекта съемки. Так, например, для макросъемки в масштабе 1 : 1 на пленке чувствительностью 350 единиц ГОСТ с выдержкой $\frac{1}{20}$ сек. при диафрагмировании объектива до 1 : 16 необходимая освещенность объекта составляет около 30 000 лк.

Эта освещенность в 256 раз больше той, что требуется для съемки с одинаковой выдержкой ($\frac{1}{20}$ сек.) при наводке объектива на удаленные объекты, когда выдвижение объектива Δf невелико и мы можем применить полную диафрагму (1 : 2).

И в самом деле, если при съемке удаленных объектов с относительным отверстием объектива 1 : 2, выдержкой $\frac{1}{20}$ сек. на пленке не ниже 350 единиц ГОСТ требуемая освещенность объекта составляет всего лишь 100—120 лк, то при съемке в масштабе 1 : 1 освещенность должна быть увеличена в четыре раза (см. табл. 6), а при диафрагмировании объектива с 1 : 2 до 1 : 16 освещенность объекта должна быть увеличена еще в $\frac{16^2}{2^2} = 64$ раза.

Таким образом, необходимо иметь освещенность объекта

$$120 \cdot 4 \cdot 64 = 30\,700 \text{ лк.}$$

Такую освещенность создают две электролампы обычного типа по 500 вт (в рефлекторах рассеивающего типа) с расстояния 30 см или две фотолампы по 275 вт с того же расстояния (в рефлекторах рассеивающего типа).

Съемка в тех же условиях на пленке, имеющей чувствительность 22—32 единицы ГОСТ, требуется освещенность увеличить приблизительно в 20 раз.

Как и при обычном фотографировании, освещение объектов макросъемки может быть: 1) естественное (дневное), 2) естественное с подсветом при помощи отражателей, 3) естественное с подсветом при помощи искусственного света и 4) искусственное. Кроме того, освещение может быть подразделено по видам на: 1) лобовое, 2) косое (скользящим све-

том), 3) боковое, 4) заднее (на просвет) и 5) комбинированное (рис. 27).

Для каждого объекта макросъемки необходимо использовать наиболее подходящий вид освещения. От умения фотографа правильно подобрать схему освещения объекта съемки и реализовать свой замысел зависит выразительность изображения предмета, а следовательно, качество и полноценность фотографического снимка.

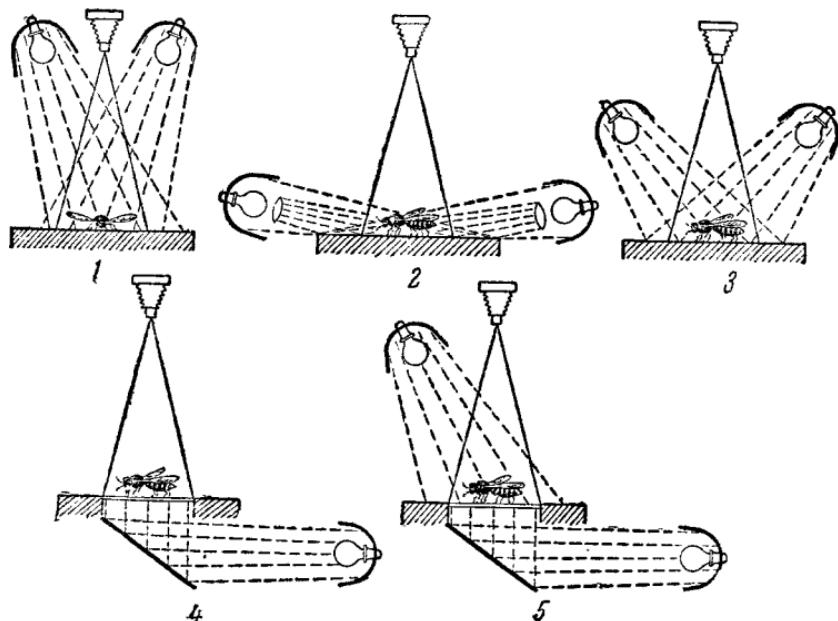


Рис. 27. Различные виды освещения при макросъемке:
1 — лобовое, 2 — косое (скользящим светом), 3 — боковое, 4 — заднее
(на просвет), 5 — комбинированное

Создать приемлемое освещение объекта макросъемки можно любыми подручными источниками освещения, включая настольные лампы, лампы-переноски и т. п. Но наиболее полноценное освещение достигается путем применения специальных осветительных приборов.

Осветительные приборы для макросъемки бывают четырех типов: 1) осветители рассеянного света, 2) осветители направленного света, 3) кольцевые осветители и 4) просветные осветители.

На рис. 28 изображены осветители рассеянного света, которые представляют собой рефлекторы с матированной

отражающей поверхностью и опаловой или матовой электролампой мощностью 150—250 вт. Такой осветитель может быть установлен на специальную подставку или закреплен непосредственно на станке для макросъемки. Осветителем

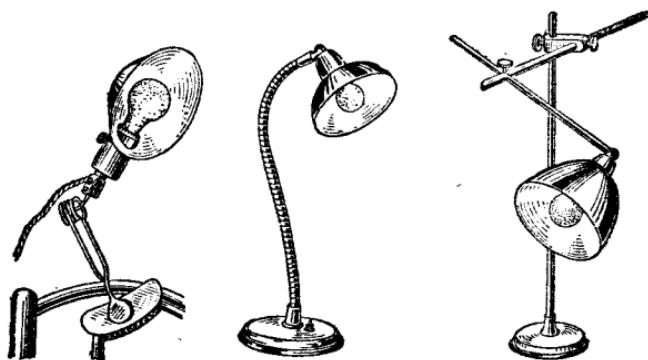


Рис. 28. Осветительные приборы рассеянного света

рассеянного света невозможно создать высокую освещенность объекта. Для создания такой концентрированной освещенности на небольшой площади применяются осветители, направленного света. На рис. 29 показаны осветители,

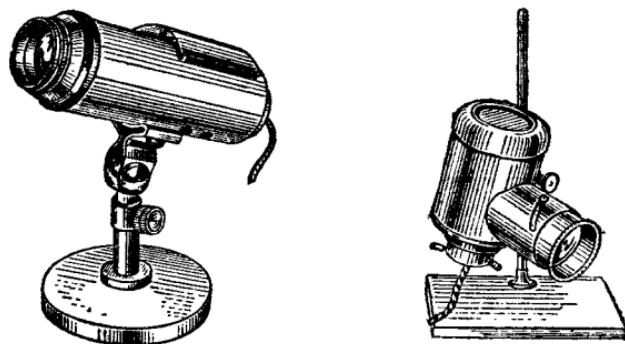


Рис. 29. Осветительные приборы направленного света

состоящие из кожуха для кинопроекционной лампы мощностью 300 или 500 вт, зеркального рефлектора и линзы, которые формируют направленный пучок световых лучей. Передвижением линзы вдоль тубуса осветительного прибора можно получить сходящийся или расходящийся пучок лучей света.

В качестве осветителя направленного света можно использовать осветительное устройство от кинопроекционного аппарата передвижного типа (К-25, К-101 или КПС). Такой осветитель может создать на площади 100 см^2 освещенность порядка 400000 лк.

Очень удобным для получения ровного бесстеневого освещения при макросъемке является кольцевой осветитель (рис. 30). Кольцевой осветитель представляет собой круглый рефлектор с отверстием в середине. По периферии рефлектора размещаются десять малогабаритных электролампочек. Осветитель укрепляется на тубусе объектива таким образом, чтобы объектив приходился против центрального отверстия.

Кольцевой осветитель легко сделать самому. В качестве рефлектора можно использовать металлическую круглую коробку из-под кинопленки, которая имеет диаметр 180 мм и высоту борта 40 мм. По окружности в дне коробки на расстоянии 60 мм от центра нужно вырезать десять отверстий диаметром по 15 мм, куда вставить десять автомобильных 12-вольтовых электролампочек. Металлические цоколи лампочек нужно обернуть изоляционной лентой, чтобы изолировать их от металлической коробки. Одновременно этим же достигается возможность прочного крепления лампочек в отверстиях.

Лампочки соединяются последовательно, аналогично тому, как это делается с лампочками для елки. Соединенные последовательно десять лампочек по 12 в можно включать в сеть переменного тока 120—127 в.

В центре дна коробки вырезается отверстие диаметром 35 м для объектива.

Для того чтобы закрепить кольцевой осветитель на тубусе фотоаппарата «Зенит», «Зоркий» или «ФЭД», нужно вывернуть объектив и ввернуть его снова, надев на резь-

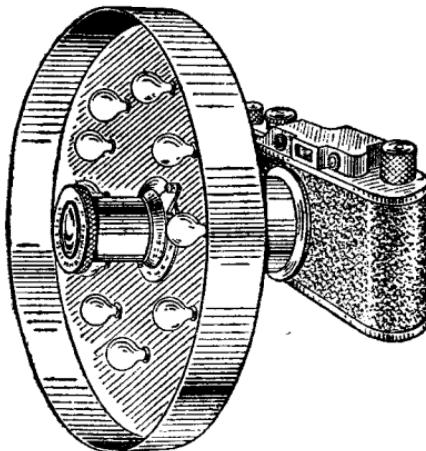


Рис. 30. Кольцевой осветительный прибор

бовую часть оправы кольцевой осветитель таким образом, чтобы края центрального отверстия коробки (рефлектора) оказались зажатыми между тубусом и фланцем оправы объектива.

Осветители нижнего света, или, как их называют, прозрачные осветители, обычно представляют собой ящик, внутри которого помещается опаловая лампа, а верхняя стенка закрывается матовым или опаловым стеклом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы закончили краткое описание технических основ макросъемки. Читателю должно быть ясно, что фотографирование мелких объектов в крупном масштабе является делом более сложным, чем обычное фотографирование объектов, удаленных от аппарата на расстояние более 1 м. Однако страшиться трудностей не следует. Нужно только смело подойти к решению задачи, вооружившись знаниями и имея необходимое оборудование. Ценность и полезность макросъемки почти для всех отраслей науки, техники и просвещения бесспорна. Техникой и искусством фотографирования мелких объектов окружающей нас природы и результатов труда человека, всевозможных изделий, деталей механизмов, а также деталей археологических объектов и произведений искусства должен овладеть широкий круг лиц, занимающихся фотографией. А освоение техники всегда связано с ее прогрессом, с усовершенствованием и развитием новых методов, с созданием нового оборудования.

В этом разделе книги мы рассказали только об элементарных основах макросъемки, стремясь помочь многочисленным любителям фотографии в их стремлении поставить фотографию на службу науке и просвещению.

Пожалуй, невозможно описать все приемы макросъемки огромного разнообразия объектов физических, технических, химических, биологических, зоологических, ботанических, медицинских, геологических, археологических, петрографических и многих других, с которыми встречаются в своей повседневной практике фотографы и фотолюбители.

Одни объекты фотографируются в лабораториях, другие — на заводах, третьи — в клиниках, четвертые — в полях и лесах, пятые — в горных, морских и всевозможных других экспедициях и т. д.

Каждый фотограф должен сам дополнить или разработать методику съемки своих объектов и оснаститься необходимой техникой, которая обеспечила бы ему успешную реализацию макросъемок. Пути решения технических задач макросъемки он найдет в нашей книге.

В приложениях 4—11 приведены образцы макроснимков мелких объектов, сфотографированных в различных масштабах.

ЛИТЕРАТУРА

И. М и н е н к о в, Макросъемка малоформатными аппаратами, «Советское фото», 1957, № 2, стр. 55—58.

И. М и н е н к о в, Некоторые вопросы макросъемки и фото, ЖН и ПФ и К, 1956, т. 1, № 6, стр. 446—454.

Ю. К у з н е ц о в, Насадка к дальномеру для макросъемки, «Советское фото», 1957, № 8, стр. 55—60.

Е. Г. Ш а е р, Стереоскопическая фотосъемка малых объектов, ЖН и ПФ и К, 1957, т. 2, № 1, стр. 53—61.

С. Б о л д ы р е в, Крупномасштабная съемка камерами «ФЭД» и «Зоркий», «Советское фото», 1957, № 9, стр. 51—54.

H o r s t S c h r a d e r, Nahaufnahmen.—näher betrachtet, VEB Wilhelm Knapp Verlag. Halle, 1955.

G e o r g F i e d l e r, Exakta Makro- und Mikro-Fotografie, VEB Wilhelm Knapp Verlag. Halle, 1954.

W e r n e r W u r s t, Exakta Kleinbildfotografie, VEB Wilhelm Knapp Verlag. Halle, 1955.

Раздел II

МИКРОСЪЕМКА

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых распространенных оптических приборов, предназначенных для исследования мельчайших организмов и веществ, является микроскоп.

Трудно представить себе область естествознания, где бы не применялся микроскоп. Он является важнейшим прибором всякого биологического исследования.

Без микроскопа не может обойтись ни одна область морфологии — науки, изучающей строение и форму организмов и веществ.

Микроскоп и микрофотография широко используются в производственных лабораториях и в сельском хозяйстве.

Микрофотография развилась в новую отрасль прикладного знания, позволяющую широко применить сравнительный метод исследования.

С помощью микрофотографии можно зафиксировать различные явления и процессы микромира, сравнить и со-поставить между собой эти явления, найти связь между ними.

Микрофотография дает возможность документально удостоверить подлинность того или иного явления или процесса, наблюданного в поле зрения микроскопа.

Микрофотография применяется не только в научно-исследовательских и производственных лабораториях. Микроскоп широко используется в учебных лабораториях — в школах и вузах, в любительских научных кружках, в домах пионеров и клубах.

С развитием оптико-механической промышленности микроскоп и фотоаппарат становятся доступными каждому интересующемуся естествознанием.

Пытливый ум человека стремится познать природу, разгадать необычные явления, происходящие вокруг нас.

Верным помощником ему в этом начинании будет фотоаппарат.

Натуралист-фотолюбитель найдет вокруг себя бесконечное множество явлений, расширяющих его кругозор, обогащающих его знания; фотоаппарат приучает к наблюдательности, толкает к поискам нового.

* * *

Настоящее руководство посвящено краткому изложению основных вопросов съемки с помощью наиболее распространенного биологического микроскопа.

Существует мнение, что для микрофотографии пригодны только большие дорогостоящие микроскопы исследовательского типа,

Это не совсем так.

Можно иметь первоклассную аппаратуру и оптику и получать плохие снимки. Причиной этому является не столько отсутствие необходимых знаний и навыков по фотографии, сколько неумелое обращение с микроскопом.

Многие даже опытные исследователи допускают грубые ошибки при работе с микроскопом и не до конца используют его возможности.

Необходимо иметь в виду, что успех съемки в первую очередь зависит от знания микроскопа и от умения правильно его настроить.

Наша промышленность выпускает разные модели микроскопов и фотокамер, начиная от простейших и кончая сложными установками.

Для большинства работ можно рекомендовать среднюю модель биологического микроскопа с приставной фотокамерой или фотенасадкой.

При наличии подходящего микроскопа и фотоаппарата простейшую микрофотографическую установку нетрудно сорудить своими средствами.

КАК ВИДИТ ГЛАЗ

СТРОЕНИЕ ГЛАЗА

Глаз человека можно сравнить с фотографическим аппаратом. Так же как и фотоаппарат, глаз (рис. 31) снабжен своеобразным объективом, так называемым хрусталиком, имеющим форму двояковыпуклой линзы. Хрусталик отбрасывает



Рис. 31. Схема строения глаза

изображение наблюдаемых предметов на сетчатую оболочку (сетчатку), выстилающую дно глазного яблока.

Сетчатка глаза является своеобразным светоприемником, или светочувствительной оболочкой. Отсюда световое раздражение передается по нервам в мозг, где и возникает зрительное восприятие окружающих нас предметов.

Хрусталик, наподобие объектива фотоаппарата, снабжен постоянно действующей диафрагмой — зрачком. Диаметр зрачка меняется в зависимости от освещенности рассматриваемых предметов.

Наводка на резкость в глазу осуществляется особой кольцевой мышцей, изменяющей кривизну хрусталика. При наблюдении близко расположенных предметов кривизна хрусталика возрастает, а его фокусное расстояние уменьшается. При рассматривании удаленных предметов хрусталик принимает наименее искривленную форму, его фокусное расстояние увеличивается.

Изменение кривизны хрусталика под действием кольцевой мышцы называется аккомодацией (приспособлением). Аккомодация, по существу, сводится к изменению фокусного расстояния хрусталика, благодаря чему на сетчатке образуется резкое изображение как близких, так и удаленных предметов.

Аккомодация протекает автоматически, независимо от сознания. Рассматривая различно удаленные предметы, мы все время получаем резкое изображение на сетчатке.

НАБЛЮДЕНИЕ НА БЛИЗКИХ РАССТОЯНИЯХ

Хрусталик глаза имеет ограниченную способность изменять кривизну своих поверхностей. При наблюдении мелких предметов с очень близких расстояний наступает предел аккомодации. Самое короткое расстояние для нормального глаза равно 10—11 см, при этом степень аккомодации достигает наивысшего напряжения. Ближе этого расстояния нормальный глаз обычно перестает четко различать предметы.

Расстояние, на котором удобнее всего рассматривать мелкие предметы при наименьшем напряжении аккомодации, называется **расстоянием наилучшего видения**. Для нормального глаза это расстояние равно **250 мм.** Люди с нормальным зрением на этом расстоянии держат, например, книгу при чтении.

Какова величина самых мелких частиц, которые в состоянии различить глаз?

Оказывается, что с расстояния наилучшего видения нормальный глаз различает две светящиеся точки, отстоящие друг от друга на **0,1 мм.** Угол зрения, под которым видны эти точки, равен **1 мин.** Этими числами определяется **острота зрения**, или **разрешающая сила** глаза.

Длительное наблюдение при наивысшей разрешающей силе сопряжено с быстрой утомляемостью глаза, а следовательно, и с временной потерей остроты зрения.

Разрешающая сила зависит от освещения объекта и от условий наблюдения. При всех благоприятных условиях нормальный глаз свободно различает с расстояния наилучшего видения частицы величиной в **0,2 мм.**

Расстояние наилучшего видения используется для некоторых расчетов при работе с оптическими инструментами, служащими для вооружения глаза.

У близоруких людей это расстояние соответственно меньше, а у дальнозорких больше.

В пожилом возрасте, когда хрусталик и кольцевая мышца утрачивают свою способность к аккомодации, глаз с трудом различает мелкие предметы. Люди пожилого возраста держат книгу при чтении на большем расстоянии от глаз или применяют очки из собирательных линз, которые своей кривизной дополняют недостающую кривизну хрусталика.

Собирательные линзы позволяют преодолеть не только утраченную с возрастом способность глаза к приспособлению на близкие расстояния, но и дают возможность переступить тот предел аккомодации, который существует у людей с нормальным зрением. Мельчайшие предметы, которые мы не в состоянии различить глазом, так как не можем приспособить его на столь короткие расстояния, становятся видимыми при сочетании глаза с дополнительными оптическими приборами — лупой или микроскопом.

Поскольку фотографический аппарат обнаруживает такое сходство с устройством человеческого глаза, то, сле-

довательно, все те оптические приборы, которые предназначены для вооружения глаза, могут быть с успехом соединены с фотографической камерой. В частности, это относится и к микроскопу. Изображение, которое мы наблюдаем глазом через микроскоп, может быть зафиксировано на фотографической пластиинке или снято на кинопленку.

КАК ДЕЙСТВУЕТ СОБИРАТЕЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

ХОД ЛУЧЕЙ И ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Действие собирательной оптической системы подобно действию простой собирающей линзы.

Ход лучей и построение изображения в сложных оптических системах, как, например, в фотографических объективах или объективах микроскопа, в принципе ничем не отличается от хода лучей и построения изображения в простой линзе.



Рис. 32. Построение изображения для двояковыпуклой линзы

На рис. 32 изображена двояковыпуклая линза со всеми важнейшими точками и расстояниями, необходимыми для построения изображения.

Напомним вкратце, что главным фокусом линзы называется точка, где сходятся все лучи, шедшие до преломления параллельно оптической оси. Двояковыпуклая линза имеет два главных фокуса, расположенных по обе стороны линзы. Передний фокус F_1 лежит в предметном пространстве, т. е. там, где находится предмет AB . Задний фокус F'_1 лежит в пространстве изображения.

Расстояния f и f' будут соответственно передним и задним фокусными расстояниями. Они будут равны, если по обе стороны линзы находится однородная среда, например воздух¹.

Точки F_1 и F_2 отстоят от оптического центра C линзы на двойном фокусном расстоянии — $2f$ и $2f'$.

Лучи света, идущие из точки A предмета, после преломления в линзе сойдутся по другую ее сторону, в точке A' . Лучи света, идущие из точки B , сойдутся в B' .

Для построения изображения достаточно воспользоваться двумя лучами для каждой точки предмета — лучом, идущим параллельно оптической оси, который после преломления пойдет через задний главный фокус F_1 , и лучом, идущим через оптический центр. Этот луч, проходя через линзу, не изменит своего направления. Пересечение лучей по правую сторону линзы даст изображение точки предмета.

Как видно из схемы, изображение $A'B'$ будет обратное, уменьшенное и действительное.

Действительным оно называется потому, что действительно существует. В этом нетрудно убедиться, если поставить в плоскость $A'B'$ белый лист бумаги, на котором мы и получим перевернутое и уменьшенное изображение предмета. Такое же изображение мы видим на матовом стекле фотоаппарата.

ПРЕДМЕТ НА БЛИЗКОМ РАССТОЯНИИ

Величина изображения $A'B'$ изменяется в зависимости от расстояния до предмета съемки. Чем ближе находится предмет к точке F_2 , тем крупнее его изображение на матовом стекле.

Существует определенная зависимость между расстоянием a от объектива до предмета съемки и расстоянием b от объектива до изображения. С уменьшением первого возрастает второе. Расстояния a и b называются сопряженными расстояниями.

¹ Фокусное расстояние всегда отсчитывается от главных точек линзы. На рис. 32 для простоты отсчет фокусного расстояния произведен от оптического центра линзы до главного фокуса, как это делается для очень тонких линз. Построение изображения при этом в принципе не изменяется.

При съемке удаленных предметов изображение будет находиться в задней фокальной плоскости F'_1 объектива. С приближением предмета к точке F_2 , расстояние b увеличивается и изображение все дальше отодвигается от объектива, приближаясь к двойному фокусному расстоянию, к точке F'_2 .

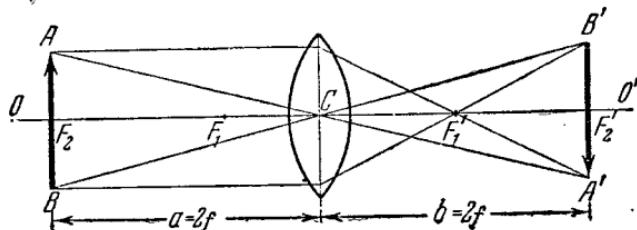


Рис. 33. Изображение равно предмету

Когда предмет будет находиться на двойном фокусном расстоянии (рис. 33), то его изображение окажется также на двойном фокусном расстоянии. Оно будет действительное, обратное и по величине равно предмету. Следовательно, для съемки предметов в натуральную величину необходимо установить объектив на двойном фокусном расстоянии относительно плоскости изображения.

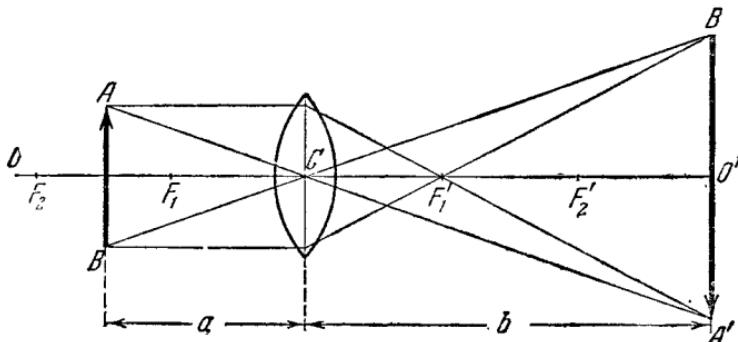


Рис. 34. Увеличенное изображение

Если предмет приблизить еще ближе и расположить его между передним главным фокусом F_1 и двойным фокусным расстоянием (рис. 34), то изображение будет находиться за двойным фокусным расстоянием. Оно будет действительное, обратное и увеличенное.

Степень увеличения будет возрастать по мере приближения предмета к переднему главному фокусу F_1 . Одно-

время с этим увеличивается и расстояние b . Наибольшее увеличение будет получено при расположении предмета вблизи главного фокуса, но несколько за ним.

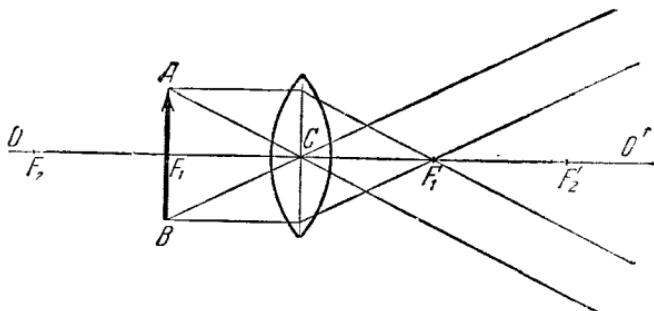


Рис. 35. Предмет в главном фокусе линзы

Когда предмет окажется в передней фокальной плоскости, то лучи, исходящие из каждой точки предмета, после преломления в линзе пойдут параллельными пучками. В таком случае изображение будет в бесконечности (рис. 35).

ЛУПА

ОБРАЗОВАНИЕ МНИМОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Если предмет AB (рис. 36) приблизить еще ближе к линзе и расположить его между передним главным фокусом F_1 и поверхностью самой линзы, то действительного изображения мы не получим.

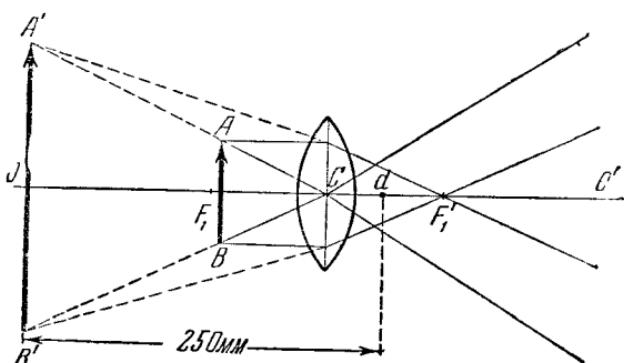


Рис. 36. Схема действия луны

Как видно из построения, лучи по правую сторону линзы пойдут расходящимся пучком. Продолжив эти лучи в сторону предметного пространства, между точками пересечения найдем изображение $A'B'$ предмета.

Это изображение можно видеть, если поместить зрачок глаза вблизи линзы, в плоскости, проходящей через точку d , где образуется самый узкий конус световых лучей, преломленных линзой. Для правильного наблюдения необходимо, чтобы все лучи светового конуса прошли в глаз.

Изображение $A'B'$ — мнимое (кажущееся), прямое и увеличенное.

Так действует обыкновенная лупа или простой микроскоп. Лупа как бы дополняет недостающую кривизну хрусталика, при этом глаз наблюдает не самий предмет AB , а его увеличенное изображение $A'B'$.

На практике лупу устанавливают относительно предмета так, чтобы изображение, видимое глазом, находилось на расстоянии 250 мм, как при чтении книги.

УВЕЛИЧЕНИЕ ЛУПЫ

Степень увеличения, или кратность, лупы равна отношению размера изображения $A'B'$ к размеру предмета AB ; оно показывает, во сколько раз изображение больше предмета. Это будет так называемое линейное увеличение G :

$$G = \frac{A'B'}{AB}.$$

Поскольку мы не можем практически измерить величину мнимого изображения $A'B'$, то формулу увеличения удобнее выразить через сопряженные расстояния. Вместо изображения $A'B'$ подставим в формулу расстояние CO от центра лупы до мнимого изображения, а вместо величины предмета AB — соответствующее расстояние до предмета.

При работе с сильными короткофокусными лупами глаз наблюдателя располагается почти вплотную к лупе. Тогда расстояние CO можно считать равным расстоянию наилучшего видения глаза ($CO=dO=250$ мм).

Предмет AB находится вблизи переднего главного фокуса F_1 лупы. Расстояние от центра лупы до предмета можно считать равным фокусному расстоянию f лупы.

Тогда формула увеличения примет следующий вид:

$$G = \frac{250}{f}. \quad (21)$$

Увеличение лупы равно отношению расстояния наилучшего вида к фокусному расстоянию лупы.

Чем короче фокусное расстояние лупы, тем большее увеличение.

КАК ДЕЙСТВУЕТ МИКРОСКОП

ХОД ЛУЧЕЙ И ОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Отличие микроскопа от лупы заключается в том, что микроскоп имеет более сложную оптическую систему, состоящую из объектива и окуляра. Объектив обращен непосредственно к объекту наблюдения, окуляр — к глазу. Глаз по-латински — «oculum», по-русски — «око». Отсюда и происходит название окуляра.

На рис. 37 показан ход лучей и построение изображения в микроскопе.

Объектив *Об.* и окуляр *Ок.* микроскопа являются центрированными оптическими системами. Это означает, что все центры их сферических поверхностей расположены на одной главной оптической оси *OO'*.

Общая длина тубуса от основания трубы, куда ввинчивается объектив, до окончания верхней выдвижной трубы, куда вкладывается окуляр, носит название механической длины тубуса.

Объективы микроскопа рассчитываются на определенную длину тубуса. У разных микроскопов механическая длина тубуса различна. У большинства биологических микроскопов длина тубуса составляет 160 мм.

Предмет *AB* располагается перед объективом вблизи его переднего главного фокуса *F*, но несколько за ним. В таком случае объектив дает действительное, обратное

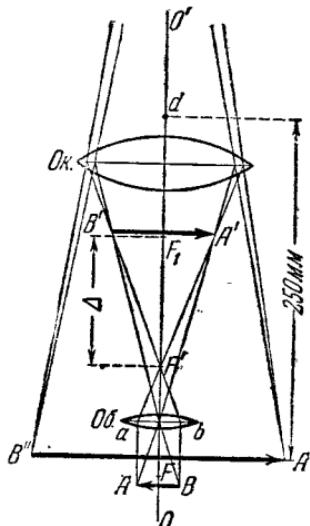


Рис. 37. Схема образования изображения в микроскопе

и увеличенное изображение $A'B'$ (см. рис. 34). Это изображение можно увидеть, если поместить в плоскость $A'B'$ матовое стекло или кружок папиросной бумаги. Оно является промежуточным изображением в микроскопе, так как образовано только одним объективом без участия окуляра.

Промежуточное изображение $A'B'$ располагается несколько выше переднего главного фокуса F_1 окуляра. Окуляр действует, как лупа (см. рис. 36), и дает мнимое, прямое (относительно $A'B'$, но обратное относительно AB) и вторично увеличенное изображение $A''B''$.

Глаз наблюдателя располагается вблизи окуляра, в точке d . Изображение $A''B''$ рассматривается глазом с расстояния наилучшего видения — 250 мм.

УВЕЛИЧЕНИЕ МИКРОСКОПА

Общее линейное увеличение микроскопа измеряется произведением двух увеличений: собственного увеличения объектива, умноженного на собственное увеличение окуляра:

$$G_{\text{мик}} = G_{\text{об}} \cdot G_{\text{ок}}. \quad (22)$$

Собственное увеличение объектива определяется следующим образом:

$$G_{\text{об}} = \frac{A'B'}{AB},$$

но $AB = ab$:

$$G_{\text{об}} = \frac{A'B'}{ab}.$$

Расстояние между задним главным фокусом F' объектива и передним главным фокусом F_1 окуляра называется оптическим интервалом микроскопа и обозначается буквой Δ .

Практически можно считать, что промежуточное изображение $A'B'$ находится в главной фокальной плоскости окуляра, проходящей через точку F_1 .

Тогда из подобия треугольников $aF'b$ и $A'F'B'$ следует:

$$\frac{A'B'}{ab} = \frac{\Delta}{f_{\text{об}}}, \quad G_{\text{об}} = \frac{\Delta}{f_{\text{об}}}. \quad (23)$$

Оптический интервал Δ микроскопа не имеет постоянного значения. Как видно из схемы, при употреблении длино-

фокусных объективов оптический интервал уменьшается, а при короткофокусных — увеличивается. Так, например, при объективе $f=32$ мм оптический интервал равен 130 мм, а при объективе $f=1,5$ мм — 180 мм. Для объективов среднего фокусного расстояния оптический интервал имеет соответственно среднее значение.

В связи с этим при определении собственного увеличения объектива чаще берут не оптический интервал, а механическую длину тубуса, на которую и рассчитываются объективы микроскопа:

$$G_{об} = \frac{160}{f_{об}}. \quad (24)$$

Чем короче фокусное расстояние объектива, тем больше его собственное увеличение.

Собственное увеличение окуляра определяется так же, как увеличение лупы:

$$G_{ок} = \frac{250}{f_{ок}}.$$

Подставив в уравнение (22) найденные значения, получим

$$G_{мик} = \frac{160}{f_{об}} \cdot \frac{250}{f_{ок}}. \quad (25)$$

Зная фокусные расстояния объектива и окуляра, легко рассчитать общее увеличение микроскопа.

Окуляр увеличивает не сам предмет, а промежуточное изображение, образованное объективом. Поэтому он не может дать новых подробностей в строении предмета, если они не выявлены объективом. Окуляр лишь создает условия, при которых структура предмета становится более доступной для наблюдения.

По способности увеличения объективы и окуляры микроскопа можно разделить на три основные группы: слабые, средние и сильные (см. табл. 10).

На оправах объективов обычно обозначается собственное увеличение или фокусное расстояние, а иногда то и другое одновременно. На оправах окуляров — только увеличение. Этот способ обозначений следует признать наиболее удобным.

В других случаях объективы и окуляры обозначаются порядковыми номерами или буквами латинского алфавита.

При такой системе обозначений приходится пользоваться таблицами увеличений, прилагаемыми к микроскопам.

Таблица 10

Фокусные расстояния и собственные увеличения объективов и окуляров

Группы	Объективы		Окуляры	
	Фокусные расстояния, мм	Увеличения	Фокусные расстояния, мм	Увеличения
Слабые	50	1,5—2	83	3
	40	2—3	50	5
	30	5	35	7
	18	8	—	—
	16	10	—	—
Средние	8	20	25	10
	5	35	17	15
	4	40	—	—
Сильные	2,9—3	60	12	20
	2,5	70	8,4	30
	2—1,8	90	5	50
	1,5	120	—	—

УСТРОЙСТВО МИКРОСКОПА И НАЗНАЧЕНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ ЧАСТЕЙ

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МИКРОСКОПУ

Современные биологические микроскопы выпускаются самых разнообразных конструкций, начиная от простых школьных микроскопов и кончая сложными приборами, предназначенными для исследовательских целей.

Биологический микроскоп является универсальным прибором, позволяющим производить наблюдение и съемку препаратов различной прозрачности в прямом проходящем свете, при косом освещении, на темном поле, а также в отраженном свете при использовании соответствующих дополнительных приспособлений.

От правильного выбора и применения микроскопа, оптики и принадлежностей к нему во многом зависит качество фотографических работ.

Микроскоп, предназначенный для микрофотографии, должен прежде всего обладать хорошей устойчивостью. Это необходимо для того, чтобы все операции по подготовке и проведению съемки, как-то: завод и спуск фотографического затвора, вкладывание и открывание кассеты и т. п., не вызывали вибраций оптической системы микроскопа и не нарушали резкости изображения.

Все механические детали микроскопа должны быть хорошо пригнаны, движения их должны быть плавными, без заметных люфтов и мертвого хода.

ОПТИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ЧАСТИ МИКРОСКОПА

Биологический микроскоп состоит из следующих основных частей (рис. 38).

Штатив микроскопа несет на себе все основные механические и оптические детали микроскопа.

Штатив состоит из тубусодержателя 1 и ножки 2, соединенных между собой шарниром 3. С помощью шарнира микроскопу можно придать горизонтальное, вертикальное и наклонное положения. В любом положении ножка штатива должна обеспечивать надежную устойчивость микроскопу.

В верхней части тубусодержателя находятся макровинт 4 для предварительной установки на резкость и микрометрический винт 5 для точной наводки на резкость.

У микроскопов более поздней конструкции оба винта располагаются в нижней части штатива. С помощью этих винтов тубус 10 микроскопа вместе с объективами 11 и окуляром 12 передвигаются вниз и вверх.

В нижней части тубусодержателя находится предметный столик и осветительный аппарат.

Осветительный аппарат микроскопа состоит из зеркала 6 и конденсора 7 с ирисовой диафрагмой 8. Все три приспособления должны быть хорошо центрированы относительно объектива и окуляра.

Зеркало микроскопа имеет плоскую и вогнутую поверхности. Оно устанавливается наклонно к оптической оси микроскопа и направляет пучок световых лучей, идущих

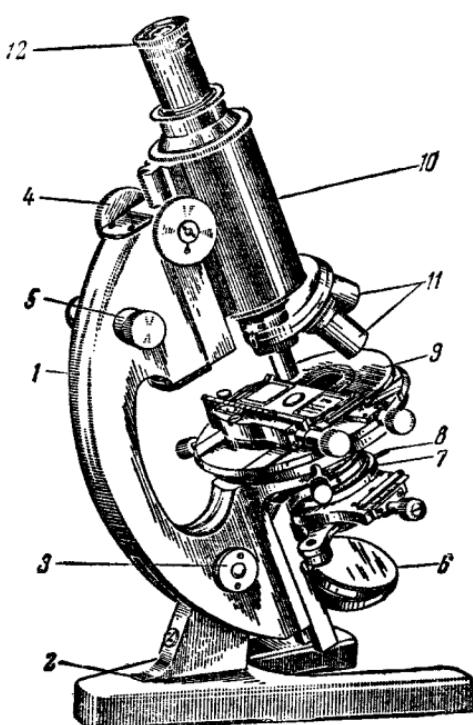


Рис. 38. Биологический микроскоп:
1—тубусодержатель, 2—ножка, 3—шарнир,
4—макровинт, 5—микрометрический винт,
6—зеркало, 7—конденсор, 8—ирисовая диафра-
гма, 9—предметный столик, 10—тубус,
11—объективы, 12—окуляр.

и как правило при работе без конденсора с объективами слабого увеличения.

Плоское зеркало не изменяет формы отраженного от него светового пучка. Параллельные лучи после отражения остаются параллельными. Кроме того, при хорошей центрировке зеркала они должны быть параллельны оптической оси микроскопа. Плоское зеркало создает более правильное освещение объекта и не вносит искажений в ход лучей.

При наличии конденсора всегда следует применять плоское зеркало.

¹ Количество выражение светосилы системы или освещенности изображения, принятное в микроскопии.

от источника света, вверх через ирисовую диафрагму в конденсор.

Правильный выбор зеркала имеет важное значение при работе с микроскопом.

Многие микроскописты считают, что для повышения освещенности объекта следует пользоваться вогнутым зеркалом. Такой взгляд является ошибочным.

Вогнутое зеркало нарушает весь принцип освещения объекта. Оно дает сходящийся пучок света и действует наподобие весьма слабого конденсора с очень низкой апертурой¹. Вследствие наклонного положения зеркала возникают сильно выраженные явления астигматизма и сферической aberrации. Вогнутое зеркало применяется очень редко

Наилучшие результаты дают зеркала наружного серебрения.

Ирисовая диафрагма конденсора является важнейшей частью осветительного аппарата и помещается впереди нижней линзы конденсора. В многолинзовых конденсорах ирисовая диафрагма монтируется между его линзами.

От умения правильно пользоваться ирисовой диафрагмой зависит качество получаемого в микроскопе изображения.

Диафрагма конденсора действует наподобие диафрагмы фотографического объектива. От нее зависят многие важные факторы, как, например, светосила микроскопа, освещенность изображения, глубина резкости, контраст, передача мелкой структуры и др.

Диаметр отверстия диафрагмы устанавливается в соответствии с апертурой объектива. Произвольное диафрагмирование в целях снижения освещенности недопустимо при работе с микроскопом и всегда отрицательно сказывается на качестве изображения.

У более совершенных осветительных аппаратов ирисовая диафрагма имеет приспособление для смещения в горизонтальной плоскости и вращательного движения вокруг вертикальной оси в пределах 270° (рис. 39).

При боковом смещении отверстия диафрагмы достигается косое освещение препарата.

Ирисовая диафрагма снабжается особым пазом или кольцевидным держателем, куда вкладываются круглые матовые стекла, светофильтры и другие специальные приспособления.

На оправе диафрагмы наносятся деления, показывающие диаметр ее отверстия в миллиметрах.

Диафрагма апертуры и диафрагма поля. Всякая оптическая система снабжена диафрагмой, выполняющей определенные функции. Диафрагмой может служить сама оправа оптической системы, как, например, у объектива ми-

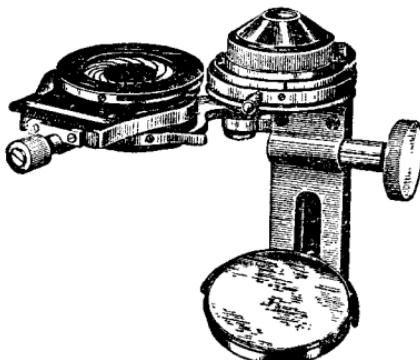


Рис. 39. Осветительный аппарат с откинутой в сторону ирисовой диафрагмой

кроскопа, или круглая пластина с постоянным отверстием, как у окуляра микроскопа, или же ирисовая диафрагма с изменяющимся отверстием, как у конденсора или фотографического объектива.

По своим функциям диафрагмы делятся на два основных вида. Первый — диафрагмы, регулирующие количество света, поступающего в оптическую систему, или, иными словами, определяющие действующее отверстие, или апертуру, системы. Это — диафрагмы апертуры. Второй вид — диафрагмы, ограничивающие размер поля зрения или поля изображения системы. Это — диафрагмы поля.

Первые диафрагмы не видны в поле зрения. Их можно обнаружить только по изменению освещенности изображения.

Вторые диафрагмы можно наблюдать в поле зрения. В микроскопе такая диафрагма видна в виде резко очерченного круга.

С уменьшением отверстия диафрагмы поля уменьшается диаметр видимого поля, с увеличением отверстия — увеличивается. При этом освещенность поля на единицу его поверхности остается неизменной.

Следовательно, диафрагмы поля, не изменения освещенности, ограничивают только размер поля. Диафрагмы апертуры, наоборот, не влияют на размер поля, но изменяют освещенность.

Одна и та же диафрагма может в одном случае действовать как диафрагма апертуры, а в другом, — как диафрагма поля. Это зависит от условий, при которых наблюдается действие диафрагмы. Так, например, рассматривая изображение в окуляр микроскопа и изменяя диаметр отверстия ирисовой диафрагмы конденсора, мы увидим, как изменяется освещенность поля зрения. Следовательно, при данных условиях наблюдения диафрагма конденсора действует как диафрагма апертуры.

Теперь удалим окуляр и заглянем в полую трубу микроскопа. Мы увидим равномерно освещенный круг, диаметр которого будет изменяться с изменением отверстия диафрагмы конденсора. При этих условиях та же диафрагма действует как диафрагма поля, и ее изображение видно глазом.

Необходимо подчеркнуть, что при одних и тех же условиях наблюдения одна и та же диафрагма ни при каких

обстоятельствах не может выполнять обе функции. Она может быть или диафрагмой апертуры, или диафрагмой поля.

Ирисовая диафрагма конденсора располагается в передней фокальной плоскости конденсора или вблизи нее и при правильной установке последнего действует как диафрагма апертуры в общей системе микроскопа.

Лучи света (рис. 40), пересекающиеся в передней фокальной плоскости F конденсора, а следовательно, и в плоскости диафрагмы AB , по выходе из конденсора пойдут параллельными пучками. Изображение ирисовой диафрагмы, отброшенное только одним конденсором, должно было бы находиться в бесконечности. Между тем параллельные лучи встречают на своем пути объектив, преломляются в его линзах и образуют в задней фокальной плоскости F' объектива изображение $A'B'$ ирисовой диафрагмы конденсора. Это изображение мы и наблюдали в полуоткрытую трубу микроскопа при удаленном окуляре. Оно носит название первичного изображения в микроскопе.

Очевидно, чтобы иметь возможность управлять как освещенностью, так и размерами поля, необходимо иметь две диафрагмы в системе микроскоп — фотокамера. Одна диафрагма должна выполнять функции диафрагмы апертуры и служить для изменения освещенности поля, вторая — должна изменять размеры поля. Первой диафрагмой является диафрагма конденсора, вторая диафрагма располагается перед источником света. Подробнее о ней будет сказано ниже.

Конденсор (см. рис. 38) располагается под предметным столиком микроскопа и служит для освещения препарата проходящим пучком света.

Вместе с ирисовой диафрагмой конденсор передвигается вверх и вниз с помощью специальной кремальеры.

Некоторые микроскопы снабжаются так называемыми

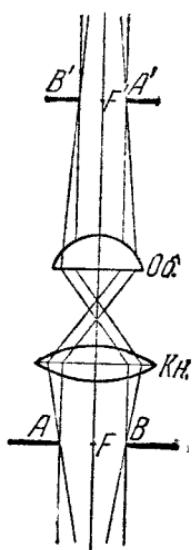


Рис. 40. Схема образования изображения ирисовой диафрагмы конденсора в задней фокальной плоскости объектива:

Kn. — конденсор,
Ob. — объектив,
F — передний фокус конденсора,
F' — задний фокус объектива,
AB — диафрагма конденсора,
A'B' — изображение диафрагмы

откидными конденсорами, которые в крайнем нижнем положении могут быть выведены в сторону.

Как пользоваться конденсором и на какой высоте его следует установить?

Для получения правильного освещения препарата конденсор должен быть сфокусирован. Предметом фокусировки конденсора служит круглое ярко освещенное отверстие диафрагмы осветительного прибора (светильника), установленного перед зеркалом микроскопа. Изображение этой диафрагмы конденсор отбрасывает в плоскость препарата.

Фокусировка производится передвижением конденсора вверх и вниз с помощью особого винта, расположенного в нижней части штатива микроскопа.

Поскольку диафрагма осветительного прибора располагается за двойным фокусным расстоянием конденсора, ее изображение будет получаться всегда уменьшенным (см. рис. 32).

Диафрагма осветительного прибора действует как диафрагма поля. С уменьшением ее отверстия изменяется диаметр освещенного поля препарата.

При использовании плоского зеркала изображение диафрагмы светильника имеет вид ярко освещенного кружка.

Вогнутое зеркало искажает изображение диафрагмы и придает ему продолговатую форму, а при небольшом отверстии диафрагмы ее изображение принимает вид узкой и длинной полосы. Кроме того, вогнутое зеркало укорачивает фокусное расстояние конденсора, что не всегда является желательным. Чаще возникает необходимость в удлинении фокусного расстояния конденсора.

Сфокусированный конденсор занимает всегда строго определенное положение, при этом создаются наиболее благоприятные условия для просвечивания объекта и для использования апертуры объектива.

Изменить положение конденсора — это значит нарушить всю световую и оптическую настройку микроскопа.

Несмотря на это, многие микроскописты не обращают внимания на фокусировку конденсора и произвольно передвигают его вверх и вниз с целью изменения освещенности объекта.

При высоко поднятом конденсоре препарат оказывается залит светом, при этом теряется контраст изображения и ухудшается передача мелкой структуры объекта.

При низко опущенном конденсоре сильно снижаются рабочие качества микроскопа и в первую очередь его светосила. В поле зрения возникают дифракционные явления — контуры объекта оказываются окруженными каймой, появляются изображения инородных предметов в виде нерезких пятен и концентрических колец, которые наблюдатель зачастую принимает за детали объекта.

Изменять освещенность изображения можно с помощью апертурной диафрагмы конденсора, но в ограниченных пределах. Более широкая регулировка освещения производится иными средствами, о которых будет сказано ниже.

Существуют различные типы конденсоров, начиная от простейших однолинзовых и кончая сложными многолинзовыми.

Действие конденсора следует рассматривать в тесной связи с действием объектива.

Изображение диафрагмы светильника, отбрасываемое конденсором в плоскость препарата, просматривается через объектив и окуляр микроскопа.

Чем короче фокусное расстояние конденсора, тем меньше масштаб изображения диафрагмы и тем, соответственно, меньше диаметр освещенного поля препарата. Короткофокусный конденсор освещает меньший участок препарата, нежели длиннофокусный. Такое освещение используется с объективами сильного увеличения.

Слабые объективы охватывают больший по размеру участок объекта, нежели сильные. С объективами очень слабого увеличения можно увидеть почти все поле объекта, тогда как с сильными объективами — только отдельные детали, расположенные на небольшом участке препарата. Поэтому при использовании короткофокусного конденсора в сочетании со слабым объективом освещенной оказывается только центральная часть поля зрения. Для того чтобы заполнить светом все поле зрения, необходимо применить длиннофокусный конденсор.

По своему использованию совместно с различными объективами микроскопа конденсоры делятся на: а) слабые длиннофокусные, применяемые в сочетании с объективами слабого увеличения, б) средние, применяемые с объективами среднего увеличения, и в) сильные короткофокусные, применяемые с сильными объективами.

Таким образом, фокусные расстояния объектива и конденсора находятся в прямой зависимости.

Чем сильнее объектив, тем короче должно быть фокусное расстояние конденсора.

При съемке через микроскоп, где к качеству освещения предъявляются более высокие требования, чем при обычной работе с микроскопом, необходим такой конденсор, который можно было бы использовать в сочетании с различными объективами путем изменения его фокусного расстояния.

Еще удобнее иметь набор конденсоров различных фокусных расстояний.

По своей оптической конструкции конденсоры делятся на: а) простые, недоисправленные; б) апланатические, т. е. с исправленной сферической aberrацией и комой; в) ахроматические, с исправленной сферической и частично хроматической aberrацией.

Для микрофотографии необходимо иметь хорошо исправленный конденсор типа апланата или ахромата. Недоисправленность конденсора к различного рода aberrациям усиливается объективом и окуляром микроскопа и отрицательно отражается на качестве фотографического изображения.

Конденсоры для слабых, средних и сильных увеличений. При работе с объективами с слабого увеличения, фокусное расстояние которых превышает 16 мм, а также с длиннофокусными микрофотографическими объективами применяются конденсоры типа очкового стекла. Они состоят из одной или двух линз. Фокусное расстояние таких конденсоров колеблется от 20 до 100 мм (рис. 41).

Лучшие из таких конденсоров апланатичны за счет использования несферической линзы, устраняющей сферическую aberrацию для краевых лучей.

Для средних увеличений выбор конденсора более ограничен. В продаже такие конденсоры встречаются сравнительно редко, и ассортимент их невелик.

Из специальных конденсоров для средних увеличений можно назвать апланатический конденсор (с апертурой 0,6),



Рис. 41. Конденсоры типа очкового стекла

предназначенный для объективов с фокусным расстоянием 8 и 16 мм, и ахроматический конденсор с фокусным расстоянием 12 мм (апертура 1,0) для объективов от 4 до 8 мм.

Чаще всего для средних увеличений применяются сильные конденсоры, у которых свинчивается верхняя линза (рис. 42). Сильные апланатические конденсоры так же хорошо исправлены без верхней линзы, как и специальные конденсоры для слабых и средних увеличений.

Приспособить сильный конденсор к средним увеличениям можно различными способами. Важно при этом, чтобы увеличение диаметра освещенного поля не сопровождалось ухудшением качества работы конденсора, а следовательно, и качества освещения.

При удалении верхней линзы фокусное расстояние конденсора увеличивается. Тот же результат может быть достигнут присоединением к конденсору отрицательной линзы силой от 2 до 3 диоптрий. Обычно такие линзы вкладываются в круглый паз ирисовой диафрагмы или в кольцевидный держатель, предназначенный для светофильтров и матовых стекол.

Для сильных увеличений применяются короткофокусные, хорошо исправленные конденсоры.

Хорошие результаты дает апланатический трехлинзовый конденсор с фокусным расстоянием 10,5 мм (апертура 1,4). Его нижняя линза имеет несферическую форму, благодаря чему она является апланатической.

Такой конденсор можно применять как в собранном виде, так и с одной нижней линзой, свинчивая две верхние. Фокусное расстояние оставшейся линзы достигает 37 мм. Это позволяет использовать конденсор с объективами слабого увеличения.

Для микрофотографических работ апланатический трехлинзовый конденсор рекомендуется применять с масляной иммерсией даже с объективами средней силы.

За последние годы освоено производство так называемых панкратических конденсоров с постепенным и плавным изменением апертуры от 0,16 до 1,4 (рис. 43). Это дает возможность использовать один конденсор с объективами различной апертуры.

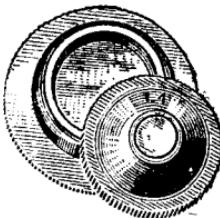


Рис. 42. Апланатический конденсор. Верхняя линза свинчена

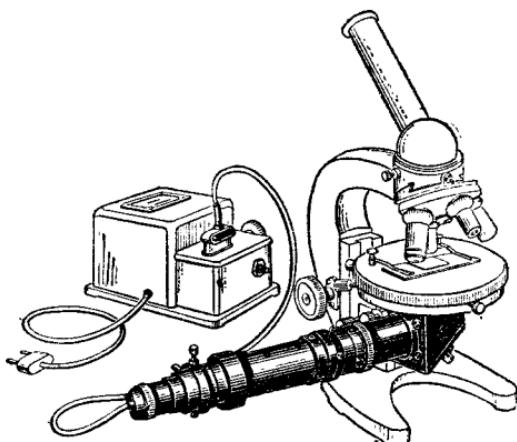


Рис. 43. Панкратитический конденсор ПК-1, установленный на биологическом микроскопе МБИ-1. Конденсор снабжен низковольтной электролампой 8 в 20 вт, питаемой от электросети 127 или 220 в через понижающий трансформатор ТР-8

Предметный столик микроскопа служит для установки и перемещения препарата в горизонтальной плоскости.

Для микрофотографии необходимо иметь круглый врашающийся столик с приспособлением для передвижения препарата в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Часто для этой цели используются приставные препаратороводители (рис. 44).

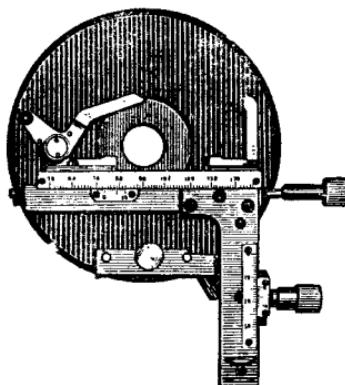


Рис. 44. Предметный столик с приставным препаратороводителем

Крестообразные движения препарата отчитываются с помощью двух нониусов, дающих показания с точностью до 0,1 мм. Отсчетные приспособления необходимы для того, чтобы в процессе предварительного просмотра можно было бы отметить нужные участки препарата, а затем вернуть его в требуемое положение.

В центре столика находится круглое или овальное отверстие, позволяющее пропустить самый широкий конус света при ис-

пользовании слабых объективов. Величина отверстия регулируется вставными диафрагмами.

Хороший предметный столик должен иметь центрировочное приспособление для совмещения центра отверстия с оптической осью микроскопа.

Тубус микроскопа состоит из широкой трубы, диаметр которой доходит до 50 мм, и второй выдвижной трубы меньшего диаметра. Внутренняя поверхность тубуса должна быть матово-черной для устранения световых рефлексов.

На выдвижном тубусе наносится шкала в миллиметрах, показывающая механическую длину тубуса.

Изменение длины тубуса производится в следующих случаях: 1) при употреблении объективов, рассчитанных на иную длину тубуса, 2) при употреблении специальных микрофотографических окуляров, работающих при укороченной длине тубуса, 3) для исправления недостатков промежуточного изображения, рисуемого объективом, 4) при использовании держателей объективов, изменяющих оптический интервал.

Нельзя изменять длину тубуса произвольно, преследуя какие-либо иные цели, как, например, повышать увеличение или регулировать диаметр поля. Всякое произвольное изменение длины тубуса ведет к изменению оптического интервала, входящего в расчет оптической системы микроскопа, а следовательно, и к ухудшению качества изображения.

Перед началом работы тубус точно устанавливается на определенную длину.

У современных биологических микроскопов тубус можно удлинить до 200—250 мм.

К основанию широкого тубуса крепится с помощью того или иного приспособления объектив, а в верхнюю часть выдвижного тубуса вкладывается окуляр.

Приспособление для установки и смены объективов. У современных микроскопов широкое распространение получила револьверная насадка, снабженная гнездами для двух, трех или четырех объективов (см. рис. 38); она допускает быструю смену объективов. Фиксация производится стопорным приспособлением в виде защелки.

Для микрофотографии револьверные насадки не являются вполне удовлетворительными приспособлениями. При длительном употреблении стопорный механизм постепенно срабатывает, вследствие чего теряется устойчивость объектива и его центрировка.

Более надежной является так называемая индивидуальная система крепления. Каждый объектив снабжается своим приспособлением (салазками или щипцовыми устройством), обеспечивающим хорошую устойчивость и центрировку (рис. 45).

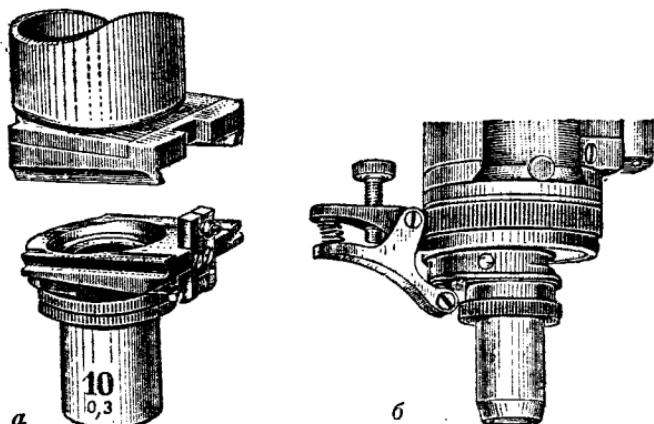


Рис. 45. Приспособления для установки и смены объективов:

a — салазки, б — щипцовая система

Необходимо иметь в виду, что любая из указанных систем является промежуточной между объективом и тубусом микроскопа. Все они удлиняют механическую длину тубуса. Револьвер и щипцовая насадка удлиняют тубус на 15 мм, а салазки — на 18 мм. Поэтому если размер системы крепления не учтен при изготовлении микроскопа, то необходимо укорачивать тубус на соответствующую величину.

Механизм для фокусировки микроскопа. Установка изображения на резкость называется фокусировкой микроскопа.

Фокусировка производится двумя винтами — макровинтом и микрометрическим винтом, — передвигающими весь тубус микроскопа вниз или вверх. При движении тубуса объектив микроскопа перемещается вместе со своими главными фокусными точками, приближаясь к плоскости объекта или отдаляясь от нее. Резкое изображение возникает в тот момент, когда объект находится на строго определенном расстоянии относительно объектива, т. е. вблизи его переднего главного фокуса, но несколько за ним (см. рис. 37).

В процессе фокусировки механическая длина тубуса и оптический интервал остаются неизменными.

Расстояние от передней линзы объектива до объекта при сфокусированном микроскопе называется предметным расстоянием.

У длиннофокусных объективов предметное расстояние больше; у короткофокусных — меньше. Чем корочефокусное расстояние объектива, тем труднее установить изображение на резкость и тем точнее должна быть произведена фокусировка.

При работе с сильными короткофокусными объективами предметное расстояние настолько мало, что объектив почти вплотную придвигается к препарату. Для того чтобы сфокусировать такой объектив, приходится передвигать тубус микроскопа на ничтожные расстояния, измеряемые тысячными долями миллиметра.

Фокусировку микроскопа рекомендуется производить вначале с объективами слабого увеличения, а потом переходить на более сильные объективы. Установив слабый объектив, опускают макровинтом тубус микроскопа почти до соприкосновения объектива с покровным стеклом препарата, а затем, действуя микрометрическим винтом в обратном направлении, поднимают тубус и производят точную установку на резкость. После этого поворотом револьвера вводят более сильные объективы, уточняя всякий раз резкость изображения микрометрическим винтом.

Работа макровинта должна отличаться плотным и в то же время легким ходом. Тубус не должен сползать под тяжестью револьверной насадки, бинокулярного тубуса или насадочной фотокамеры. Сползание тубуса тотчас вызывает выход изображения из резкости. В таких случаях необходимо усилить плотность хода макровинта. Для этого обычно рукоятки макровинта поворачиваются в противоположных направлениях. Придерживая рукой левую рукоятку, врашают правую по часовой стрелке. Если надо уменьшить плотность хода, то правую рукоятку врашают против часовой стрелки.

ЦЕНТРИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ МИКРОСКОПА

При выполнении микрофотографических работ важное значение приобретает центрировка оптических частей микроскопа.

Малейшие нарушения центрировки создают неравномерно освещенное поле; оптика микроскопа начинает работать в краевых лучах; возникают такие нежелательные явления, как aberrации, дифракционные кольца и т. п.

Все это в конечном счете приводит к ухудшению качества изображения.

Для получения доброкачественных фотографий необходимо всякий раз проверять центрировку оптической системы микроскопа и при обнаружении отклонений немедленно вносить соответствующие поправки.

Чаще всего оказываются децентрированными конденсор и его ирисовая диафрагма. При вертикальном передвижении конденсора отмечается одновременное его смещение в поперечном направлении. Это объясняется менее точным изготовлением и пригонкой ходовых деталей — направляющих и кремальеры.

Ниже приводятся простейшие способы центрировки оптических частей микроскопа.

Центрировка объектива. Ориентиром для центрировки объективов служит вертикальная ось тубуса микроскопа. При точной центрировке необходимо, чтобы оптическая ось объектива совпала с вертикальной осью тубуса. Для этого берут окуляр с крестообразно пересекающимися нитями в поле зрения. Точка пересечения нитей окуляра совпадает с вертикальной осью тубуса.

Относительно этой точки и ведется центрировка объектива.

Если микроскоп снабжен револьверной насадкой, то последняя удаляется и объектив ввинчивается непосредственно в тубус. Для этого используется переходное кольцо, высота которого должна быть равна высоте удаленной насадки, т. е. 15 мм.

На столик микроскопа кладется препарат с перекрещивающимися линиями.

Микроскоп фокусируется, и передвижением предметного столика изображение креста препарата совмещается с крестом нитей окуляра. Препарат закрепляется в найденном положении.

После этого объектив удаляется из тубуса, ставится на место револьверная насадка и объектив ввинчивается в гнездо револьвера.

Движением центрировочных винтов револьверной насадки (но ни в коем случае не сдвигом препарата) изобра-

жение креста объекта вновь совмещается с крестом окуляра.

На этом центрировка объектива заканчивается.

Центрировка ирисовой диафрагмы и конденсора. Приступая к центрировке ирисовой диафрагмы и конденсора, необходимо убедиться в том, что объектив микроскопа центрирован относительно оси тубуса.

Центрировка диафрагмы и конденсора производится по отношению к объективу.

Удалив конденсор и затянув ирисовую диафрагму почти до отказа, устанавливают очень слабый длиннофокусный объектив и фокусируют его непосредственно на отверстии диафрагмы.

Изображение диафрагмы наблюдают в окуляр с крестом нитей и совмещают центр отверстия с точкой пересечения нитей.

Совмещение производится с помощью центрировочных винтов, а если такого приспособления нет, то эксцентрическим смещением диафрагмы.

Центрировка конденсора производится после того, как отцентрирована ирисовая диафрагма.

На столик микроскопа кладется препарат, частично рассеивающий проходящий через него свет. Сфокусировав объектив и конденсор, удаляют окуляр и в задней фокальной плоскости объектива наблюдают изображение ирисовой диафрагмы конденсора (см. рис. 40). Наблюдение удобнее всего производить через безлинзовый, так называемый центрировочный окуляр, снабженный небольшим отверстием в центре диска. Если такого окуляра нет, то его можно заменить самодельным колпачком из черной бумаги. В центре колпачка надо проколоть отверстие швейной иглой и надеть колпачок на верхний конец тубуса микроскопа.

Отверстие ирисовой диафрагмы должно быть открыто настолько, чтобы круг объектива был заполнен конусом света, выходящим из конденсора.

Вращением центрировочных винтов конденсора совмещают изображение диафрагмы с краями выходного отверстия объектива.

Напоминаем, что центрировка конденсора, так же как и центрировка объектива, производится в рабочем положении, т. е. когда конденсор и объектив сфокусированы.

Центрировка зеркала. Из белой бумаги вырезается диск, диаметр которого точно соответствует диаметру зеркала.

Центр диска отмечается точкой, после чего каплей бальзами диск приклеивается к зеркалу.

Конденсор, объектив и окуляр удаляются. Отверстие ирисовой диафрагмы конденсора закрывается до предельной величины. На место окуляра ставится центрировочный окуляр или бумажный колпачок с проколом.

Два маленьких отверстия — ирисовой диафрагмы и бумажного колпачка — являются прицелом, через который можно отцентрировать третью точку — центр диска.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОСКОПЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Биологические микроскопы, работающие в проходящем свете, являются самыми ранними по выпуску приборами. Гораздо позднее их появились микроскопы специального назначения — металлографические, минералогические, поляризационные, ультрафиолетовые и др.

Конструкция биологического микроскопа в настоящее время доведена до высокой степени совершенства.

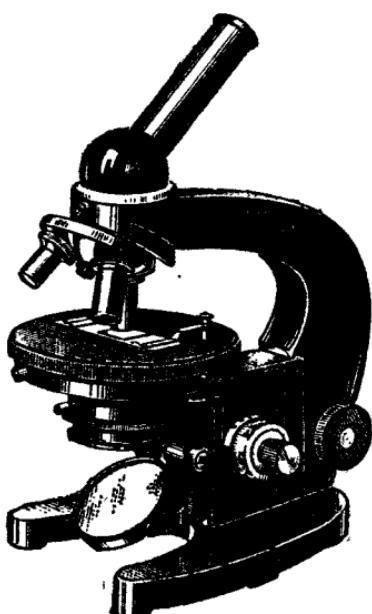


Рис. 46. Биологический микроскоп МБИ-1

Современные биологические микроскопы снабжены различными объективами, окулярами и осветительными аппаратами. Для них выпускаются многочисленные принадлежности: фотографические камеры, осветительные приборы, окулярные насадки, рисовальные аппараты и др.

Ниже приводятся краткие характеристики биологических микроскопов отечественного производства.

Микроскоп МБИ-1 (рис. 46) является средней по сложности моделью биологического микроскопа. Он предназначен для исследования прозрачных препаратов в проходящем свете.

При использовании специальных конденсоров или дру-

гих принадлежностей можно вести наблюдение в темном поле или в отраженном свете.

Микроскоп МБИ-1 может быть использован для работы в медицине, ботанике, зоологии, бактериологии, сельском хозяйстве и в заводских производственных лабораториях.

Микроскоп имеет наклонный тубус для наблюдения и сменный прямой тубус для микрофотографии. Механическая длина тубуса постоянна и равна 160 м.м.

Крепление и смена объективов осуществляются с помощью револьверной насадки с четырьмя гнездами.

Предметный столик круглый, вращающийся. На поверхности столика имеются отверстия для крепления приставного препаратороводителя.

Осветительный аппарат состоит из двухлинзового конденсора, ирисовой диафрагмы с кольцевидным держателем и двустороннего зеркала. Апертура конденсора при использовании масляной иммерсии равна 1,2, без иммерсии — 1,0. Верхняя линза конденсора может быть свинчена, при этом апертура снижается до 0,5.

Ирисовая диафрагма не имеет приспособления для бокового смещения и вращательного движения.

Макро- и микрометрический винты расположены в нижней части штатива. Микрометрический винт снабжен барабаном с делениями. При повороте барабана на одно деление тубус микроскопа передвигается на 0,002 м.м.

К микроскопу прилагаются три ахроматических объектива с собственными увеличениями 8, 40, и 90^х и три окуляра Гюйгенса с увеличением 7, 10 и 15^х. Общее увеличение микроскопа составляет от 56- до 1350-кратного.

Микроскоп МБИ-2 (рис. 47) является большой

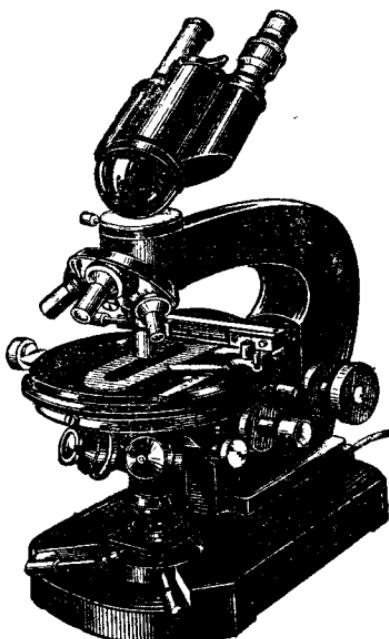


Рис. 47. Биологический микроскоп МБИ-2

моделью биологического микроскопа, предназначенного для точных исследовательских работ в области биологии, медицины, бактериологии и т. д.

Микроскоп снабжен наклонным бинокулярным тубусом для наблюдения и прямым сменным тубусом для микрофотографии.

Комплект оптики состоит из четырех объективов апохроматов для длины тубуса 160 мм с собственными увеличениями 10, 20, 60 и 90^x и пяти компенсационных окуляров с увеличениями 5, 7, 10, 15 и 20^x.

Микроскоп дает увеличение от 50- до 1800-кратного.

Осветительное устройство имеет три сменных конденсора, смонтированных на револьверной оправе: апланатическим с апертурой 1,4, очковым и конденсором темного поля. Кроме того, имеется панкратическая система для плавного изменения апертуры апланатического конденсора от 0,16 до 1,4.

Микроскоп не имеет зеркала, вся осветительная система вместе с источником света вмонтирована в основание штатива микроскопа. Освещение создается низковольтной лампой 8 в 20 вт, питаемой от электросети 127 или 220 в через понижающий трансформатор ТР-8. Схема освещения нормальная с центрирующейся полевой диафрагмой.

Такое устройство освещения очень удобно для наблюдения в лабораторных условиях, но исключает возможность пользоваться дневным светом. Осветительная система не требует кропотливой центрировки и настройки.

Однако такая специализированная конструкция лишила микроскоп универсальности. Его труднее приспособить для микрофотографии, чем микроскопы обычного типа. Сила света лампочки может оказаться недостаточной для съемки (особенно живых объектов). Заменить источник света на более мощный не представляется возможным.

Микроскоп МБИ-2 нуждается в усовершенствовании и модернизации.

Микроскоп МБИ-3 (рис. 49) представляет собой универсальную модель биологического микроскопа исследовательского типа.

Комплект объективов и окуляров тот же, что и для микроскопа МБИ-2.

Осветительный аппарат снабжен плоско-вогнутым врашающимся зеркалом. Конденсор сменный апланатический с апертурой 1,4. Верхняя линза свинчивается, без нее апертура конденсора равна 0,4.

Ирисовая диафрагма имеет поперечное и вращательное движения.

Наклонная бинокулярная насадка может быть заменена прямым выдвижным тубусом для микрофотографии.

Револьверная оправа рассчитана на четыре объектива. Предметный столик большой, круглый с крестообразным и вращательным движениями.

Микроскоп М-10и — биологический, лабораторный, для студенческих работ. По внешнему виду напоминает микроскоп, изображенный на рис. 38.

Тубус прямой, раздвижной. Макро- и микровинты находятся в верхней части штатива. Револьверная оправа на три объектива. Зеркало двухстороннее, плоско-вогнутое. Набор объективов и окуляров такой же, как и к микроскопу МБИ-1.

ТРЕБОВАНИЯ К МИКРОСКОПУ ДЛЯ МИКРОФОТОГРАФИИ

Подводя итоги всему сказанному об устройстве микроскопа, можно сформулировать следующие требования, предъявляемые к микроскопу для микрофотографии:

1. Штатив должен быть достаточно устойчивым, ножка массивной. Все ходовые части должны обладать плотным и легким ходом.

2. Тубусодержатель должен оставлять максимум свободного пространства вокруг столика микроскопа и давать возможность устанавливать самые крупные объекты. Этому требованию удовлетворяют тубусодержатели микроскопов МБИ, имеющие изогнутую форму.

3. Тубус микроскопа раздвижной для установки его на различную длину. Самая меньшая длина должна быть около 145—140 мм, а самая большая — 190—200 мм при нормальной длине 160 мм.

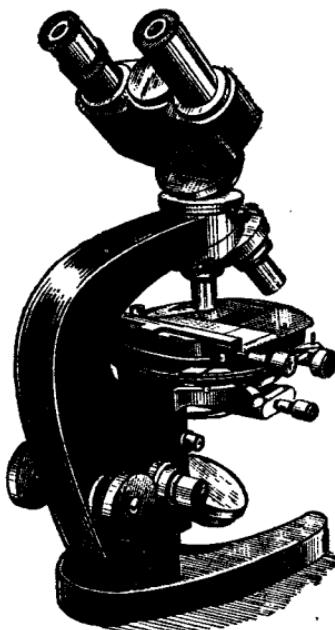


Рис. 49. Биологический микроскоп МБИ-3

На выдвижной трубе должна быть нанесена шкала в миллиметрах.

Для съемки через микроскоп пригодны как широкотубусные, так и узкотубусные микроскопы.

4. Револьверное устройство для крепления и смены объективов очень удобно для визуальной работы с микроскопом, но не всегда удовлетворяет требованиям микрофотографии. Поэтому желательно иметь индивидуальную систему крепления объективов — на салазках или щипцах.

Механизм для смены объективов должен иметь центрировочное устройство.

5. Предметный столик — вращающийся с крестообразными движениями. Можно использовать приставной препаратоводитель.

6. Макровинт должен иметь регулировку плотности хода. Микрометрический винт с точными отсчетами до 0,002 мм.

7. Конденсор микроскопа вместе с ирисовой диафрагмой должен передвигаться вверх и вниз, а также иметь приспособление для центрировки.

Желателен набор конденсоров, состоящий из:

а) ахроматического или апланатического конденсора с апертурой 1,4;

- б) очкового конденсора;
- в) конденсора темного поля.

Ирисовая диафрагма должна быть снабжена делениями, указывающими диаметр ее раскрытия в миллиметрах. Она должна иметь вращательное и поперечное движение.

8. В набор оптики микроскопа должны входить:

а) микрофотографические объективы слабого увеличения;
б) объективы апохроматы с собственными увеличениями 5, 10, 20, 40, 60 и 90^x. Последние два иммерсионные;

- в) компенсационные окуляры — 5, 7, 10, 15 и 20^x;

г) микрофотографические окуляры и окуляры — выравниватели разных увеличений.

ОБЪЕКТИВЫ И ОКУЛЯРЫ

Объектив является важнейшей частью оптической системы микроскопа. От него в первую очередь зависит степень увеличения, резкость, отсутствие искажений и передача мелкой структуры объекта.

Окуляр действует, как лупа, и увеличивает промежуточное изображение, образованное объективом. К окуляру

предъявляются меньшие требования, чем к объективу. Объективы микроскопа по своим оптическим качествам делятся на следующие основные виды: 1) ахроматы, 2) апохроматы, 3) флюоритные системы, или полуапохроматы, и 4) микронастигматы.

Окуляры выпускаются следующих типов: 1) простейшие окуляры, к числу которых относятся окуляры Гюйгенса и Рамсдена, 2) окуляры с промежуточной степенью коррекции, 3) компенсационные окуляры и 4) фотографические окуляры.

В сочетании с объективом окуляр действует как корректирующая оптическая система, исправляющая ошибки объектива. В связи с этим правильный выбор окуляра приобретает важное значение при микрофотографии.

ОБЪЕКТИВЫ АХРОМАТЫ

Ахроматы являются наиболее распространенными объективами. Они обладают самым широким диапазоном фокусных расстояний и собственного увеличения (см. табл. 11). Фокусное расстояние ахроматов колеблется от 1,8 до 55 мм.

Хроматическая аберрация у ахроматов исправлена для двух цветов (обычно в отношении спектральных линий F и C). Лучи остальных цветов образуют остаток хроматической аберрации, именуемый вторичным спектром. При соответствующих условиях его можно наблюдать в виде цветной каймы вокруг изображения.

Сферическая коррекция ахроматов рассчитывается для визуального наблюдения, преимущественно для желто-зеленых лучей.

Ахроматы дают меньшую кривизну поля изображения, нежели апохроматы. Мелкую структуру объекта они передают хуже, чем апохроматы. Это объясняется несколько пониженной апертурой и недоделанностью объективов к сферической и хроматической аберрациям.

Вследствие этого ахроматы используются главным образом для съемки всего поля изображения при ясно выраженной структуре объекта. С ахроматами слабого и среднего увеличения применяются окуляры Гюйгенса.

С сильными ахроматами, у которых имеется хроматизм увеличения, подобный апохроматам, применяются слабые компенсационные окуляры с увеличением не более 10-кратного.

Таблица 11

Объективы ахроматы для длины тубуса 160 мм

Система	Фокусные расстояния, мм	Увеличение	Апертура
Сухая	55—50	1—1,5	0,03—0,05
	33—35	3,7	0,11
	25—30	5,5	0,16
	18,0	8	0,20
	15,6	10	0,30
	8,3	20	0,40
	4,4	40	0,65
	2,9	60	0,85
Водная иммерсия	4,3	40	0,75
Масляная иммерсия	2,0	90	1,25
	1,8	100	1,30

ОБЪЕКТИВЫ АПОХРОМАТЫ

Апохроматы являются высоко апертурными и хорошо исправленными объективами.

Диапазон фокусного расстояния и собственного увеличения у них несколько меньше, чем у ахроматов. Самый слабый объектив апохромат имеет фокусное расстояние $f=30$ мм и увеличивает в пять раз; самый сильный ($f=1,5$ мм) — увеличивает в 120 раз (см. табл. 12).

Хроматическая aberrация у апохроматов исправлена для трех цветов (спектральные линии F, C и G). Таким образом, вторичный спектр у апохроматов полностью устранен. Остается лишь не совсем исправленная хроматическая разность увеличений. Апохроматы дают несколько большее изображение в синих лучах.

Эту ошибку устраниют компенсационные окуляры, которые рассчитаны таким образом, что они дают большее изображение в красных лучах. При наложении красного контура на синий получается бесцветное изображение.

Высокая хроматическая коррекция апохроматов достигнута за счет некоторой сферической недоисправлен-

ности. Поле изображения, рисуемое объективом, имеет выпуклую форму: в центре резкое, а по краям размытое. Кривизна поля изображения свойственна всем объективам микроскопа. У апохроматов этот недостаток более заметен (рис. 48).

Для визуального наблюдения искривленное поле не имеет существенного значения. Изменяя фокусировку объектива, можно получить резкое изображение любого участка. Однако для микрофотографии нерезкое изображение по краям совершенно недопустимо.

Кривое поле изображения устраняется применением специальных окуляров. Иногда приходится жертвовать частью поля, прикрыв края изображения круглой маской, расположенной в контакте с пластинкой или пленкой.

В силу того что апохроматы обладают наилучшей коррекцией и повышенной апертурой, они применяются в сложных случаях съемки, когда требуется передать тонкую структуру объекта.

Таблица 12
Объективы апохроматы для длины тубуса 160 мм

Система	Фокусные расстояния, мм	Увеличение	Апертура
Сухая	30	5	0,15
	16,2	10	0,30
	8,3	20	0,65
	4,3	40корр. ¹	0,95
Водная иммерсия	2,5	70корр. ¹	1,25
Масляная иммерсия	2,9	60	1,00
	2	90	1,30
	2	90	1,40
	1,5	120	1,30

¹ Объектив в коррекционной оправе.

При работе с апохроматами необходимо соблюдать точную центрировку всей оптической системы микроскопа.

Флюоритные системы, или полуапохроматы, занимают промежуточное положение между ахроматами и апохрома-

тами. Флюоритные объективы применяются в сочетании с окулярами промежуточной коррекции и с компенсационными окулярами.

ОБЪЕКТИВЫ С ПЛОСКИМ ПОЛЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ (ПЛАНАХРОМАТЫ И ПЛАНАПОХРОМАТЫ)

Обычные объективы ахроматы и апохроматы дают кривое поле изображения. Особенно страдают этим недостатком апохроматы. Компенсационные окуляры не исправляют у них кривизну поля изображения.

Выше было сказано, что для выравнивания поля применяются специальные фотографические окуляры, а в некоторых случаях прибегают к выкадровке, сохраняя на снимке только центральную часть поля изображения.

За последние годы наложен выпуск специальных объективов — планахроматов и планапохроматов, дающих плоское изображение по всему полю.

Исправление кривизны поля у этих объективов достигнуто за счет более сложной конструкции. Как видно из рис. 50, объектив планахромат с увеличением 40^x и апертурой 0,65 состоит из 9 линз, а обычный ахромат с тем же увеличением и той же апертурой — из 5 линз.

Слабые планахроматы с увеличением 3,5 и 9^x могут работать с обычными окулярами Гюйгенса. Хроматизм увеличения у них невелик.

Планапохроматы с фокусным расстоянием 10 и 2,4 мм имеют хроматизм увеличения такого же порядка, как и обычные апохроматы. Поэтому при работе с ними надо пользоваться компенсационными окулярами.

Устранение кривого поля изображения у планахроматов 40 и 75^x привело к сильному усложнению конструкции объективов. Число линз у них доходит до 9 и 12. Вследствие этого хроматизм увеличения у объективов стал больше, чем у апохроматов. Для его компенсации необходимо применять специальные окуляры. Объектив 40^x работает в паре с 7-кратным окуляром, а 75^x — с 5-кратным (см. табл. 13).

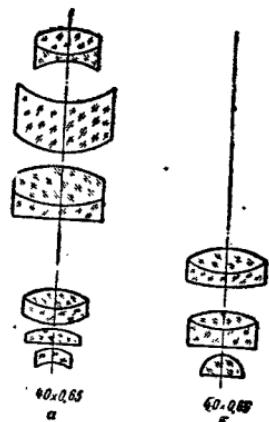


Рис. 50. Схемы объективов:
а — планахромат $40 \times 0,65$
б — ахромат $40 \times 0,65$

Таблица 13

Объективы планахроматы и планапохроматы

Коррекция	Система	Фокусные расстояния, мм	Увеличение	Апертура
Планахромат	Сухая	—	3,5	0,10
	»	—	9	0,20
	»	—	20	0,40
	»	—	40	0,65
	Масляная иммерсия	—	75	0,90
Планапохромат для отраженного света	Сухая	10	—	0,50
То же	»	2,4	—	0,90

ОБЪЕКТИВЫ МИКРОАНАСТИГМАТЫ

Объективы микроанастигматы выпускаются разными фирмами под различными названиями. Существуют так называемые микропланары, микросуммары, микрополяры и другие с фокусными расстояниями от 25 до 100 мм.

По своей оптической коррекции они подобны фотографическим анастигматам. Различие заключается в том, что микроанастигматы предназначены для работы в условиях, прямо противоположных условиям обычной фотографической съемки.

Фотографические объективы дают наилучшее изображение, когда объект съемки находится на значительном удалении от объектива, а изображение рисуется в главной фокальной плоскости или вблизи нее.

Микроанастигматы, наоборот, рассчитаны для съемки объекта на близком расстоянии, когда изображение находится за двойным фокусным расстоянием.

Светосила этих объективов не превышает величины 1 : 4,5.

Надо сказать, что величина светосилы, обозначенная на оправе объектива, имеет весьма условное значение и не соответствует действительной светосиле. Это объясняется тем, что при работе на близких расстояниях, при различном растяжении меха камеры величина светосилы изменяется в значительных пределах и зависит в основном от

масштаба изображения. При одном и том же диаметре отверстия светосила объектива будет прогрессивно убывать с увеличением растяжения меха камеры и с повышением масштаба изображения.

Объективы микроанастигматы применяются с конденсорами типа очкового стекла и предназначены для работы без окуляров.

ОКУЛЯРЫ ГЮЙГЕНСА И РАМСДЕНА

Окуляры этого типа применяются со слабыми и средними ахроматами.

Окуляр Гюйгенса состоит из двух плоско-выпуклых линз, обращенных выпуклыми сторонами к объективу. Нижняя линза называется полевой линзой, так как она влияет на величину поля изображения, отбрасываемого объективом; верхняя — называется глазной линзой. Между обеими линзами находится окулярная диафрагма, ограничивающая поле зрения. Эту диафрагму мы наблюдаем в виде круга одновременно с увеличенным изображением объекта.

Фокусное расстояние глазной линзы обычно в два-три раза короче фокусного расстояния полевой линзы.

Промежуточное изображение располагается в плоскости окулярий диафрагмы. Это изображение построено объективом совместно с полевой линзой окуляра. Полевая линза несколько уменьшает размер промежуточного изображения и направляет световые лучи в глазную линзу. Последняя действует, как лупа, и дает мнимое и увеличенное изображение.

Сферическая и хроматическая коррекции окуляра достигаются подбором и расположением линз на соответствующих расстояниях.

Окуляр Рамсдена состоит также из двух плоско-выпуклых линз, но обращенных выпуклыми сторонами друг к другу. Окулярная диафрагма находится впереди полевой линзы. В плоскости этой диафрагмы образуется промежуточное изображение, отброшенное объективом микроскопа. Микрометр, помещенный на диафрагме, позволяет непосредственно измерить величину промежуточного изображения и, таким образом, определить собственное увеличение объектива без участия полевой линзы.

ОКУЛЯРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ КОРРЕКЦИИ

Эти окуляры известны под различными названиями — ортоскопические, компланатические, перипланатические и другие. Они представляют собой усовершенствованный тип окуляра Гюйгенса. Глазная линза у них состоит из двух-трех склеенных линз, чем устраняются сферическая и частично хроматическая аберрации.

Окуляры промежуточной коррекции применяются как с ахроматами, так и с апохроматами. В сочетании с последними они дают более плоское изображение, чем компенсационные окуляры, но не устраниют имеющейся у апохроматов хроматической разности увеличения.

Наилучшее изображение они все же дают в комбинации с ахроматами и полуапохроматами.

КОМПЕНСАЦИОННЫЕ ОКУЛЯРЫ

Компенсационные окуляры обладают повышенной коррекцией и применяются со всеми объективами апохроматами независимо от их собственного увеличения, а также с наиболее сильными ахроматами.

Эти окуляры компенсируют ошибки объективов в отношении хроматизма увеличения.

Компенсационные окуляры обладают более сильными увеличениями, чем все прочие окуляры. Чем выше собственное увеличение окуляра, тем сложнее его устройство.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ОКУЛЯРЫ

Окуляры, предназначенные для микрофотографии, отличаются от обычных окуляров тем, что они рассчитаны не для визуального наблюдения, а для проекции действительного изображения на светочувствительную поверхность.

Фотографические окуляры должны давать резкое изображение по всему полю независимо от растяжения меха фотокамеры.

Этому условию отвечают проекционные и специальные микрофотографические окуляры.

Проекционные окуляры обладают повышенной хроматической коррекцией и, как это видно из самого названия, предназначены для непосредственной проекции на экран увеличенного изображения объекта. Расстояние до экрана не превышает 2,5—3 м.

Верхняя глазная линза проекционных и фотографических окуляров может передвигаться вверх и вниз. Это осуществляется поворотом ее оправы, снабженной винтовой резьбой.

Промежуточное изображение, образованное объективом и полевой линзой окуляра, по-прежнему остается в плоскости окулярной диафрагмы. При передвижении глазной линзы вверх смещается ее передний главный фокус относительно неподвижного промежуточного изображения. Последнее оказывается расположенным впереди фокальной плоскости глазной линзы.

При таком положении глазная линза отбрасывает действительное и увеличенное изображение.

Фотографические окуляры выпускаются с увеличениями 7, 10, 15 и 18^x.

Из специальных окуляров для микрофотографирования значительное распространение получили окуляры-выравниватели, известные под названием негативных линз и гомалов. Эти системы имеют отрицательное фокусное расстояние, как у вогнутой линзы. Поэтому для визуального наблюдения они непригодны.

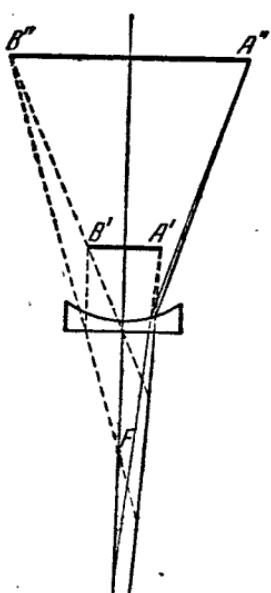
Известно, что вогнутые линзы дают мнимое изображение объекта. Их называют также уменьшительными линзами, так как они дают мнимое и уменьшенное изображение, которое можно наблюдать глазом.

Представим себе, что световые лучи идут в обратном направлении от изображения к объекту и что на месте мнимого изображения существует мнимый объект. Тогда вогнутая линза должна дать его действительное и увеличенное изображение.

По такому принципу работает отрицательный окуляр-выравниватель, для которого промежуточное изображение, образованное объективом микроскопа, является как бы мнимым объектом.

На рис. 51 показан ход лучей и построение действительного изобра-

Рис. 51. Окуляр-выравниватель. Схема образования действительного изображения



жения для окуляра-выравнивателя. $A'B'$ — промежуточное изображение, отброшенное объективом без участия окуляра.

При установке окуляра изображение $A'B'$ исчезает и становится мнимым объектом.

В правой части схемы показано, как лучи, образующие промежуточное изображение в точке A' , после установки окуляра отклоняются от оптической оси и пересекаются в точке A'' . Это будет действительное изображение соответствующей точки предмета, построенное объективом совместно с отрицательным окуляром.

В левой части схемы показано построение изображения для отрицательного окуляра, принимая во внимание, что точка B' является мнимым объектом.

Луч, идущий из точки B' параллельно оптической оси, пересечет последнюю в главном фокусе вогнутой линзы. Луч, проходящий через оптический центр линзы, пойдет, не изменяя своего направления. Продолжение этих лучей даст действительное изображение B'' , расположенное в одной плоскости с A'' .

Окуляры-выравниватели исправлены в отношении хроматической аберрации, так же как и компенсационные окуляры. Поэтому они предназначены для работы с апохроматами и сильными ахроматами. Кроме того, эти окуляры дают плоское поле изображения.

Поскольку у объективов разного увеличения наблюдается различная кривизна поля изображения, то каждый окуляр приспособлен для работы с объективами определенного фокусного расстояния (табл. 14).

Таблица 14
Применение окуляров-выравнивателей

Название окуляра	Отрицательное фокусное расстояние, мм	С какими объективами применяется увеличение, от и до
Гомал II	-70	5—20 ^x
Гомал III	-20	40 ^x
Гомал IV	-20	60—120 ^x
Гомал VI	-37,5	5—20 ^x
Негативная линза 4,7 ^x	—	Для сухих систем
Негативная линза 6,2 ^x	—	Для иммерсионных систем

Окуляры-выравниватели рассчитаны для работы с укороченной длиной тубуса. Для гомалов длина тубуса укорачивается на 23 мм, для негативных линз — на 45 мм.

Диаметр оправ окуляров-выравнивателей больше, чем у обычных окуляров. Поэтому они устанавливаются в широкий тубус микроскопа при помощи специального переходного кольца. Для этого необходимо удалить выдвижной тубус вместе с зажимной обоймой, в которую он входит, и поставить на место обоймы переходное кольцо для окуляра.

ВЛИЯНИЕ ПОКРОВНОГО СТЕКЛА

Всякая оптическая среда, помещенная между предметом и объективом, влияет на ход лучей, а следовательно, и на качество изображения, отбрасываемое объективом. Такой средой является покровное стекло препарата, слой воздуха или иммерсионной жидкости, находящейся между объективом и покровным стеклом.

Толщина покровных стекол измеряется с точностью до сотых долей миллиметра. Покровные стекла разной толщины оказывают различное влияние на ход лучей и образование промежуточного изображения.

На рис. 52 показан ход лучей в покровном стекле препарата. Направо от оптической оси изображено тонкое покровное стекло, налево — толстое.

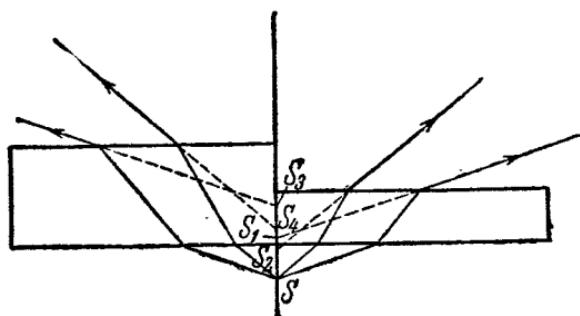


Рис. 52. Ход лучей в покровном стекле

Лучи света, выходящие из точки S , направляются вверх через покровное стекло в объектив. Попадая в покровное стекло, световые лучи испытывают преломление, как при переходе в более плотную среду, и отклоняются в сторону оптической оси.

По выходе из стекла в воздух лучи вторично преломляются и идут параллельно своему первоначальному направлению.

Продолжив эти лучи до пересечения с оптической осью, найдем, что в каждом стекле вместо изображения точки S образовались кружки рассеяния.

В тонком стекле диаметр кружка рассеяния равен $S_1 - S_2$, а в толстом — $S_3 - S_4$.

Отклонение световых лучей вызвало аберрацию в покровном стекле, по характеру весьма схожую со сферической aberrацией в простой линзе.

На схеме видно, что расстояние между точками S_3 и S_4 больше, чем между точками S_1 и S_2 . Это означает, что аберрация тем больше, чем толще покровное стекло.

Необходимо отметить, что указанное явление возникает не в пространстве изображения, а в предметном пространстве до того, как световые лучи попали в объектив.

Очевидно, что при очень тонком стекле практическое значение аберрации будет сведено к нулю. Однако изготовить такие стекла не представляется возможным. Толщина покровного стекла, измеряемая сотыми долями миллиметра, в микроскопии оказывается довольно крупной величиной.

Следовательно, аберрация в покровном стекле является неизбежным явлением, устранить которое можно лишь соответствующей коррекцией объектива.

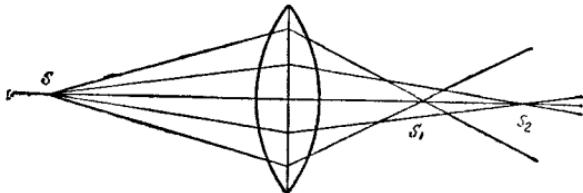


Рис. 53. Схема сферической aberrации в простой линзе

На рис. 53 изображена схема сферической aberrации в простой линзе. Лучи света, выходящие из точки S , расположенной в предметном пространстве, после преломления в линзе пересекут оптическую ось на разных расстояниях от линзы. Краевые лучи дадут изображение S ближе к линзе — в точке S_1 , а центральные лучи дальше от линзы — в точке S_2 .

В пространстве изображений вместо точки образовались кружки рассеяния.

Теперь представим себе ход лучей в обратном направлении: не слева направо, а справа налево. Пространство изображений стало предметным пространством, где налицо имеется сферическая aberrация, вызванная как бы покровным стеклом. В таком случае, если линза недоисправлена к сферической aberrации, то лучи света соберутся по левую сторону — в точке *S*. Сферическая aberrация в покровном стекле будет устранена.

Объективы микроскопа недоисправлены к сферической aberrации в такой степени, в какой она имеется в покровном стекле. Это означает, что объективы должны быть рассчитаны на определенную толщину покровного стекла. Обычно так оно и бывает. При изготовлении объективов учитывается стандартная толщина покровного стекла — 0,17 мм.

Отклонения от этой величины даже на $\pm 0,02$ мм заметно ухудшают качество изображения, в особенности у сильных сухих объективов. Предметное расстояние у таких объективов очень мало. Фокусируя объектив при толстом покровном стекле, можно случайно прижать фронтальную линзу к поверхности стекла и тем испортить и препарат и даже объектив. Имели место случаи выпадения фронтальной линзы из оправы объектива.

Аберрация в покровном стекле достигает наибольшей величины, когда между покровным стеклом и передней линзой объектива находится воздух. Меньшая aberrация возникает при наличии водной иммерсии и полностью устраивается масляной иммерсией.

Толщина покровного стекла может не соответствовать стандартной толщине. Поэтому сильные объективы, предназначенные для работы в воздушной среде, часто снабжаются коррекционной оправой, позволяющей приспособить объектив к различной толщине покровного стекла (рис. 54). Поворотом специального кольца производится перемещение задних линзовых элементов объектива относительно передних. Этим достигается изменение коррекции объектива.

По окружности кольца нанесены цифры от 10 до 22, показывающие толщину покровного стекла в сотых долях миллиметра (0,10—0,22 мм).

Рис. 54. Объектив в коррекционной оправе

Зная толщину покровного стекла, устанавливают кольцо на соответствующую цифру и производят фокусировку объектива.

Поправку на толщину покровного стекла можно произвести на глаз, изменяя длину тубуса до получения наиболее резкого изображения. Если стекло тоньше стандартного, следует несколько удлинить тубус, в противоположном случае тубус укорачивают.

ИММЕРСИИ И НУМЕРИЧЕСКАЯ АПЕРТУРА

Количественной характеристикой светосилы оптической системы микроскопа и в том числе объектива является апертура, т. е. действующее отверстие.

От апертуры зависит освещенность изображения, которая в свою очередь влияет на передачу структуры объекта.

Чтобы выявить мелкую структуру, необходимо создать наиболее благоприятные условия для просвечивания объекта. Световой поток, поступающий в объектив, должен обладать достаточной плотностью.

Следовательно, апертура является одним из важнейших факторов, определяющих рабочие качества объектива.

Апертура может быть выражена различными способами. Например, апертура диафрагмы характеризуется диаметром ее отверстия. В других случаях апертура определяется углом отверстия системы. Это так называемая угловая апертура.

Углом отверстия объектива называется угол, вершина которого находится в какой-либо точке на оптической оси, а основанием служит диаметр отверстия передней линзы.

На рис. 55 изображен угол отверстия α объектива Ob . Вершина этого угла (точка O) лежит в передней фокальной плоскости F объектива. Плоскость препарата обозначена буквой P .

Диафрагма d конденсора K_n пропускает световой конус, ве-

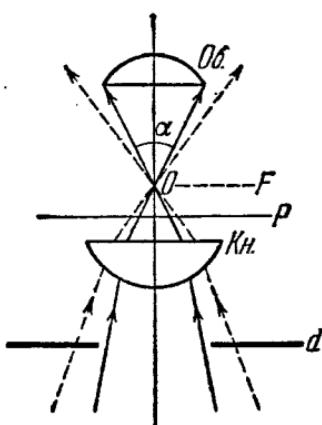


Рис. 55. Угол отверстия объектива

личина которого соответствует углу отверстия объектива. Это наиболее правильное положение диафрагмы. Апертура конденсора равна апертуре объектива. Если увеличить отверстие диафрагмы, то апертура объектива от этого не повысится, так как краевые лучи, обозначенные пунктиром, не попадут в объектив.

Угловая апертура измеряется не полным углом отверстия, а половиной его $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$, составленной оптической осью и одной из образующих угол сторон.

Определение светосилы с помощью угловой апертуры еще не дает полного представления о светособирающей способности объектива. Разные объективы, обладающие одинаковым углом отверстия, могут иметь различную светосилу.

Кроме угловой апертуры большое значение имеет та среда, в которой работает объектив.

Светосила объектива, измеренная углом отверстия и показателем преломления среды, находящейся между передней линзой объектива и покровным стеклом препарата, называется **нумерической** (числовой) **апертурой** (*NA*).

Нумерическая апертура определяется произведением показателя преломления *n* среды на синус половины угла отверстия $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ объектива:

$$NA = n \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (26)$$

откуда видно, что при неизменном значении угла отверстия $\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)$ нумерическая апертура объектива возрастает с повышением показателя преломления среды *n*.

Половина угла отверстия $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ у объективов микроскопа никогда не превышает 70—72°.

Если объектив работает в воздухе, показатель преломления которого принимается за единицу, то предельная нумерическая апертура такого объектива будет равна 0,94—0,95.

Объективы, работающие в воздухе, называются **сухими** объективами.

Если между передней линзой объектива и покровным стеклом препарата поместить каплю дистиллированной воды, то нумерическая апертура такого объектива возрастет.

Световые лучи, выходящие из покровного стекла в воду, будут испытывать меньшее отклонение, чем при переходе из покровного стекла в воздух. Угол отверстия объектива более насыщен световыми лучами.

Показатель преломления воды равен 1,33. Предельная нумерическая апертура объектива будет равна 1,25.

Объективы, работающие в жидкости, называются и м е р с и о н н ы м и (погружными), а сама среда — и м е р с и е й (погружением).

При употреблении масляной иммерсии образуется оптически однородная среда от объекта до передней линзы объектива. В качестве иммерсионной жидкости применяется кедровое масло, показатель преломления которого равен 1,515. Световые лучи проходят через покровное стекло и кедровое масло без отклонений.

Наивысшая нумерическая апертура для масляно-иммерсионных объективов будет равна 1,4.

Небходимо строго придерживаться оптических постоянных иммерсионного масла — хранить его в надлежащих условиях, не давать высыхать и не вводить разбавителей. Незначительные отклонения в показателе преломления иммерсионного масла вызывают у апохроматов не свойственную окраску, размытость и вуалирование изображения.

На оправах иммерсионных объективов обозначается род иммерсии, например Н. I., что означает гомогенная (однородная), или масляная, иммерсия. По величине максимальной нумерической апертуры можно определить, к какой системе принадлежит тот или иной объектив.

Если апертура объектива равна 1,0, то такой объектив не может быть сухим, так как предельная апертура сухого объектива равна 0,95. Он может быть или водно-иммерсионным, или масляным. Если апертура объектива равна 1,3, то такой объектив работает только в масле, так как предельная апертура водно-иммерсионного объектива равна 1,25.

Иммерсия входит в расчет объектива. Сухой объектив не может работать ни в воде, ни в масле, так же как иммерсионный объектив может быть использован только с той иммерсией, для которой он рассчитан.

Нумерической апертурой характеризуются объективы и конденсоры микроскопа.

ПОЛНАЯ ИММЕРСИЯ

К иммерсионным относятся сильные объективы, обладающие коротким фокусным расстоянием, от 1,5 до 4 м.м. Предметное расстояние таких объективов чрезвычайно мало и колеблется от 0,08 до 1,9 м.м. Благодаря этому иммерсионная жидкость свободно удерживается в промежутке между передней линзой объектива и покровным стеклом.

Чем короче фокусное расстояние объектива, тем меньше диаметр его передней линзы. У сильных короткофокусных объективов диаметр фронт-линзы настолько мал, что если такой объектив использовать без иммерсии, то он потеряет все свои рабочие качества.

Иммерсия служит для того, чтобы устранить потери света, происходящие за счет отклонения лучей на границе между покровным стеклом и воздухом.

Воздушная прослойка имеется также между верхней линзой конденсора и нижней плоскостью предметного стекла. Здесь тоже могут образоваться потери света при выходе световых лучей из конденсора в воздух.

Для устранения этих потерь применяется масляная иммерсия и на конденсоре.

Верхняя линза конденсора обращена плоской стороной к предметному стеклу, поэтому капля масла свободно удерживается на ее поверхности.

Иммерсия на конденсоре и на объективе называется полной иммерсией.

Благодаря наличию полной иммерсии создается оптически однородная среда между верхней линзой конденсора и фронт-линзой объектива.

Отклонение лучей происходит только в самом объекте.

Хорошо исправленные, высокоапертурные конденсоры рекомендуется применять с масляной иммерсией даже в том случае, когда на объективе ее нет (в сочетании со средними и сильными сухими системами).

Необходимо иметь в виду, что кедровое масло удлиняет фокусное расстояние конденсора.

Слой иммерсионной жидкости не препятствует передвижению препарата в небольших пределах.

Погружение объектива в масляную среду, а также подъем конденсора до соприкосновения кедрового масла с предметным стеклом надо производить медленно. Этим устраняется образование воздушных пузырьков в иммерсионном слое.

После окончания работы иммерсию необходимо немедленно удалить с объектива и конденсора. Кедровое масло является скоровысыхающим растительным маслом. Если его не удалить тотчас по окончании работы, то оно образует плотную сухую пленку на поверхности линз. Избавиться от нее значительно труднее.

Жидкое масло удаляется с поверхности линз мягкой ветошью. После этого остатки масла растворяются очищенным бензином или ксилолом. Нанесение растворителя производится тампоном из папиресной бумаги или ваты.

Очищенную от масла поверхность линз протирают тампоном, смоченным в дистиллированной воде, которую удаляют чистой тряпочкой.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СИЛА

Под разрешающей силой понимают способность объектива передавать мелкую структуру объекта.

На первый взгляд казалось бы, что разрешающая сила целиком зависит от увеличения. На самом деле это не совсем так.

Можно получить значительное линейное увеличение применением сильного окуляра, растяжением меха камеры или последующей проекционной печатью, но качество изображения от этого не улучшится, а скорее, наоборот, ухудшится. С другой стороны, при более слабом увеличении структура предмета может быть передана в лучшем качестве.

Следовательно, кроме увеличения существуют другие факторы, характеризующие разрешающую силу объектива. Большинство из них нам уже известно.

Разрешающая сила зависит от: 1) линейного увеличения, 2) коррекции оптической системы, 3) нумерической апертуры, 4) спектрального состава лучистой энергии, применяемой для освещения объекта. Точнее, от длины волны света.

Разрешающая сила измеряется наименьшим расстоянием между двумя соседними частицами, или, что одно и то же, наименьшим диаметром частицы, которую способна передать оптическая система.

Величина разрешающей силы тесно связана с физиологическими свойствами глаза.

Глаз человека может различать с расстояния 250 мм две точки, расположенные под углом 1—2 мин. Это является пределом разрешающей силы глаза.

Нетрудно рассчитать, чему будет равно расстояние между этими двумя точками. Из оптического центра глаза опишем окружность радиусом 250 м.м. Длина этой окружности будет равна $2\pi r$, или

$$2\pi r = 2 \cdot 250 \cdot 3,14 = 1570 \text{ м.м.}$$

Окружность содержит 360° , каждый градус по $60'$, итого 21 600 мин.

Расстояние между двумя точками, расположенными под углом в 1 мин., будет равно $1570 : 21600 = 0,07 \text{ м.м.}$, или, округленно, $0,1 \text{ м.м.}$, а для угла в 2 мин. соответственно $0,2 \text{ м.м.}$

Нормальный глаз при всех благоприятных условиях свободно различает частицу диаметром в $0,2 \text{ м.м.}$ с расстояния наилучшего видения.

Размер частиц, исследуемых под микроскопом, во много раз меньше. Для того чтобы увидеть эти микроскопические частицы, необходимо увеличить их по крайней мере до размера не менее чем $0,2 \text{ м.м.}$.

Чему же может быть равна действительная величина этих невидимых частиц?

Допустим, что мы наблюдаем структуру предмета, увеличенную до указанного размера. Увеличение микроскопа равно 100-кратному. Тогда действительная величина отдельных деталей предмета будет составлять $0,2 \text{ м.м.} : 100 = 0,002 \text{ м.м.}$, или $2 \text{ микрона } (\mu)$ ¹.

Однако это не является пределом разрешающей силы микроскопа. Можно повысить увеличение до 1000-кратного. Тогда величина частиц составит всего $0,2 \mu$. Повысив еще больше линейное увеличение, можно таким образом дойти до бесконечно малых величин, вплоть до молекул или атомов.

На самом деле разрешающая сила микроскопа имеет свой предел. Мы знаем, что ни молекул, ни тем более атомов мы не сможем различить с помощью оптического микроскопа.

Препятствием к повышению разрешающей силы микроскопа является сама природа света.

Как известно, световая энергия имеет волнобразный характер распространения.

Различные по спектральному составу световые лучи отличаются разной длиной волны.

¹ Один микрон (1μ) равен $1/1000 \text{ м.м.}$

В пределах видимого спектра самые коротковолновые фиолетовые лучи имеют длину волны 400мкм , самые длинноволновые красные — 700мкм ¹.

Распространяясь в пространстве, световые лучи встречают на своем пути различные предметы и изменяют направление своего распространения, благодаря чему эти предметы становятся видимыми.

Тоже самое происходит в предметном пространстве микроскопа. Только здесь мы имеем дело с более мелкими частицами.

Волнообразное распространение лучистой энергии весьма схоже с колебаниями звуковых волн или колебаниями жидкости. Различие состоит в том, что длина волны света измеряется не метрами или сантиметрами, а бесконечно малыми величинами — миллионными долями миллиметра. Но ведь размер частиц, наблюдаемых в микроскоп, тоже весьма мал и измеряется тысячными долями миллиметра.

Представим себе, что мы стоим на берегу моря и наблюдаем движение морских волн. Если на пути движения волн встречаются крупные предметы, например большие камни, то мы их отчетливо видим, так как они создают препятствие на пути распространения волн. Меньшие по величине предметы, например небольшие камешки, мы не замечаем, так как размер волн слишком велик по сравнению с величиной предмета.

Если длина волны будет меньше и дойдет до легкой зыби, то мы сможем различить и мелкие предметы, так как величина их станет соразмерной с длиной волны.

Следовательно, чем короче волны, тем меньшие предметы мы различаем.

Это положение остается справедливым и для световой энергии. Чем короче длина волны света, тем меньшие частицы мы можем обнаружить в микроскоп.

Зависимость разрешающей силы от длины волны света подробно излагается в так называемой дифракционной теории микроскопа, где промежуток между двумя соседними частицами рассматривается как дифракционная щель.

При прохождении света через такую узкую щель возникает явление дифракции — отклонения световых лучей от первоначального направления. Наименьшее отклонение получают фиолетовые и синие лучи, наибольшее — красные.

¹ Один миллимикрон (1 мкм) равен $1/1000000\text{ мм}$.

В объектив микроскопа попадут те лучи, которые испытывают меньшее отклонение, т. е. коротковолновые.

Благодаря этому при использовании коротковолновых лучей разрешающая сила повышается.

Чем меньше величина щели, тем сильнее выражено явление дифракции. Однако существуют такие частицы, для которых самые коротковолновые световые лучи, например фиолетовые или даже невидимые ультрафиолетовые, оказываются слишком велики. Здесь наступает предел разрешающей силы микроскопа.

Полезное увеличение микроскопа в среднем равно 1000-кратному. При таком увеличении действительные размеры частицы будут равны 0,2 μ .

Если исследование производится в самых коротковолновых фиолетовых лучах спектра с длиной волны 0,4 μ , то величина частицы оказывается как раз равной половине длины волны фиолетовых лучей.

На основании теоретических расчетов и экспериментальных исследований найдено, что предел разрешающей силы микроскопа примерно равен половине длины волны света (см. формулу (27)).

Однако и этот предел достижим только при идеальных условиях работы.

Разрешающая сила увеличивается с повышением нумерической апертуры объектива. Чем выше нумерическая апертура, тем большее количество света поступает в объектив. С увеличением апертуры возрастает плотность светового потока и улучшается видимость мелкой структуры объекта.

Математически разрешающая сила выражается следующим равенством:

$$d = \frac{0,61\lambda}{NA}, \quad (27)$$

где d — диаметр разрешаемой частицы;

λ — длина волны света;

0,61 — поправочный коэффициент, указывающий на половину длины волны света;

NA — нумерическая апертура объектива.

Разрешающая сила прямо пропорциональна длине волны света λ и обратно пропорциональна нумерической апертуре NA объектива.

Чем короче длина волны света и чем больше нумерическая апертура, тем меньше диаметр d разрешаемой частицы.

Уравнение (27) не лишено некоторой неточности. В нем не учитываются увеличение микроскопа, aberrации оптической системы и индивидуальные особенности зрения наблюдателя. Все это в той или иной степени отражается на разрешающей силе.

Плохо исправленный объектив не даст резкого изображения структуры предмета. Вместо изображения точек предмета мы получим кружки рассеяния того или иного диаметра. Следовательно, при наличии aberrаций разрешающая сила объектива значительно снижается.

ГЛУБИНА РЕЗКОСТИ

Глубина резкости объективов микроскопа ничтожно мала по сравнению с глубиной резкости фотографических объективов.

В фотографической практике глубина резкости оценивается обычно по фокусному расстоянию объектива. Чем короче фокусное расстояние объектива, тем больше глубина резко изображаемого пространства. Это справедливо только в том случае, если точка съемки остается неизменной; относительные отверстия объективов равны, а масштаб изображения изменяется пропорционально фокусным расстояниям.

В микроскопе, наоборот, глубина резкости прогрессивно снижается с уменьшением фокусного расстояния объектива.

Это объясняется тем, что глубина резкости не столько зависит от фокусного расстояния, сколько от масштаба изображения и апертуры объектива.

При съемке фотографическими объективами разного фокусного расстояния, но при одинаковом масштабе изображения глубина резкости практически остается неизменной.

С увеличением масштаба изображения глубина резкости снижается.

Масштаб изображения в микроскопе возрастает с уменьшением фокусного расстояния объектива. Следовательно, чем большее собственное увеличение объектива и чем короче его фокусное расстояние, тем меньше глубина резкости.

В фотографии глубина резкости регулируется диафрагмой объектива. С изменением отверстия диафрагмы изменяется также и освещенность изображения.

Аналогичные функции выполняет ирисовая диафрагма конденсора микроскопа. Действуя как диафрагма апертуры, она влияет на освещенность изображения и вместе с тем на глубину резкости.

С уменьшением апертуры оптической системы конденсор+объектив глубина резкости возрастает.

Диафрагмой конденсора можно и следует пользоваться для повышения глубины резкости. Однако слишком сильное уменьшение апертуры вызывает снижение разрешающей силы объектива. В поле зрения микроскопа возникают дифракционные кольца, появляются такие инородные элементы, как пыль и царапины, на предметном и покровном стеклах.

С понижением апертуры уменьшается количество рассеянного света и повышается контраст изображения.

ПОЛЕЗНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ И ВЫБОР ОКУЛЯРА

Оптический микроскоп не может передать частицу, размеры которой меньше половины длины волны света. При работе в белом свете диаметр наименьшей частицы приблизительно равен $0,25 \mu$.

Чему может быть равно минимальное увеличение, при котором мы сможем различить такую частицу?

Теоретическими расчетами установлено, что минимальное увеличение равно нумерической апертуре объектива, умноженной на 250:

$$G_{\min} = 250 \cdot NA. \quad (28)$$

Наивысшая нумерическая апертура объектива составляет 1,4. Тогда

$$G_{\min} = 250 \cdot 1,4 = 350 \text{ раз.}$$

При увеличении в 350 раз мы должны различить в микроскоп частицу размером в $0,25 \mu$.

Проверим, так ли это.

Умножим $0,25 \mu$ на 350 и посмотрим, чему будет равен размер увеличенной частицы:

$$0,25 \cdot 350 = 87,5 \mu = 0,087 \text{ мм, или, округленно, } 0,1 \text{ мм.}$$

Величина 0,08—0,1 мм лежит на крайнем пределе разрешающей силы глаза, когда угол зрения составляет всего 1'.

При хороших условиях освещения и при высокой остроте зрения можно увидеть в микроскоп частицу указанной величины.

Однако наблюдение при наивысшей остроте зрения нельзя признать вполне удобным. Кроме того, для микрофотографии размер увеличенной частицы оказывается слишком мал.

Необходимо повысить увеличение настолько, чтобы размер частицы был равен 0,2 или 0,4 мм.

Увеличение, при котором детали объекта становятся ясно видимыми, при данной апертуре объектива называется полезным увеличением.

Нижняя граница полезного увеличения микроскопа равна апертуре объектива, умноженной на 500:

$$G_n = 500 \text{ NA}. \quad (29)$$

Верхняя граница полезного увеличения равна апертуре, умноженной на 1000:

$$G_v = 1000 \text{ NA}. \quad (30)$$

Говоря о полезном увеличении, мы имеем в виду общее увеличение при микрофотографии, которое слагается из увеличений объектива, окуляра и растяжения мехов фотокамеры.

Если общее увеличение не выходит за пределы верхней границы полезного увеличения, то недостатки изображения, вызванные aberrациями или дифракцией света, еще находятся в пределах допустимой нерезкости.

При переходе верхней границы полезного увеличения указанные недостатки могут вызвать нерезкость изображения, различимую глазом.

Для объектива с нумерической апертурой 1,4 нижняя и верхняя границы полезного увеличения будут равны

$$G_n = 500 \cdot 1,4 = 700,$$

$$G_v = 1000 \cdot 1,4 = 1400.$$

Увеличение в 1400 раз является пределом полезного увеличения микроскопа. Переходить границу этого увеличения можно только в исключительных случаях, когда сама природа объекта позволяет это сделать. При тщатель-

но отцентрированном микроскопе и при работе в монохроматическом свете удается поднять полезное увеличение до 1600 NA и даже больше.

Зная собственное увеличение объектива, можно по формулам (29) и (30) рассчитать увеличение окуляра.

Например, при использовании объектива с фокусным расстоянием 4 мм, собственное увеличение которого равно 40, а нумерическая апертура 0,95, увеличение окуляра для G_a будет:

$$G_a = 500 \cdot 0,95 = 475,$$
$$475 : 40 \approx 12.$$

При работе в пределах нижней границы полезного увеличения надо применить окуляр с увеличением в 10—12 раз.

Увеличение окуляра для G_b будет:

$$G_b = 1000 \cdot 0,95 = 950,$$
$$950 : 40 \approx 20.$$

Для верхней границы полезного увеличения потребуется окуляр с увеличением в 20 раз.

ХОД ЛУЧЕЙ ПРИ МИКРОСЪЕМКЕ

Микроскоп дает мнимое и увеличенное изображение (см. рис. 37). Мнимое изображение является кажущимся изображением, оно не существует в действительности.

Как же в таком случае осуществляется съемка через микроскоп?

В начале было сказано, что глаз человека можно сравнить с фотографическим аппаратом. Хрусталик глаза — это объектив фотоаппарата, а сетчатая оболочка — светочувствительный фотослой. Все оптические приборы, предназначенные для вооружения глаза, и в том числе микроскоп могут быть с успехом соединены с фотографическим аппаратом.

Хрусталик глаза собирает световые лучи, выходящие из окуляра микроскопа, и фокусирует их на сетчатой оболочке. При этом глаз направлен на мнимое изображение, даваемое микроскопом.

По тому же принципу работает и фотографический аппарат. Объектив аппарата располагается в выходном зрачке микроскопа и собирает все лучи, выходящие из окуляра.

ляра, фокусируя их на светочувствительной поверхности фотослоя.

Простейшую микрофотографическую установку можно представить себе именно в таком виде. Несмотря на ряд недостатков, она все же удобна для быстрой съемки через микроскоп, особенно в условиях экспедиции, когда под руками может не оказаться специальной микрофотографической аппаратуры и принадлежностей.

Возникает вопрос, как сфокусировать изображение на светочувствительной поверхности?

Хрусталик глаза делает это автоматически, изменяя с помощью кольцевой мышцы кривизну своих поверхностей и давая на сетчатке резкое изображение наблюдаемого в микроскоп предмета.

Объектив фотоаппарата должен быть установлен на определенное расстояние, на котором находится предмет.

В качестве предмета для фотообъектива служит изображение, даваемое микроскопом, но это изображение мнимое. На какое же расстояние следует установить объектив?

При наблюдении в микроскоп промежуточное изображение располагается вблизи фокальной плоскости окуляра. Можно считать, что оно находится в переднем главном фокусе глазной линзы окуляра. Тогда из окуляра должны выходить параллельные пучки лучей.

Для получения резкого изображения на фотослое надо объектив фотоаппарата установить на бесконечность и расположить фотокамеру вертикально над микроскопом.

На рис. 56 представлена схема хода лучей в окуляре и фотообъективе.

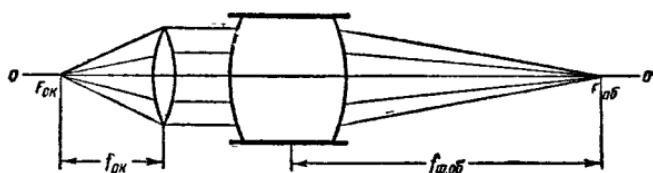


Рис. 56. Ход лучей в системе окуляр + фотообъектив

Действие окуляра подобно действию насадочной линзы, установленной на объективе и дающей на выходе параллельный пучок света. Для определения масштаба изображения здесь нет необходимости рассчитывать фокусное расстояние всей системы окуляр + фотообъектив. Предмет

(промежуточное изображение) находится в переднем главном фокусе ($F_{\text{ок}}$) окуляра (точнее в главном фокусе глазной линзы), а изображение в заднем главном фокусе фотообъектива ($F_{\text{об}}$). Расстояние до изображения равно фокусному расстоянию фотообъектива ($f_{\text{об}}$), а расстояние до предмета — фокусному расстоянию окуляра ($f_{\text{ок}}$).

Тогда масштаб изображения, или увеличение системы окуляр + фотообъектив, можно выразить следующим отношением:

$$g_{\text{системы}} = \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}. \quad (31)$$

Для съемки могут быть использованы фотообъективы любого фокусного расстояния.

Наводка на резкость производится визуально при наблюдении в микроскоп, а затем вводится фотоаппарат. В связи с этим могут быть использованы фотоаппараты не имеющие матового стекла, например малоформатные камеры «ФЭД», «Зоркий» и др.

При таком способе съемки удобно применять бинокулярный микроскоп, на один окуляр которого устанавливается малоформатная камера, а второй служит для наводки на резкость и контроля изображения при съемке.

Общее увеличение системы микроскоп + фотоаппарат определяется произведением из собственного увеличения объектива микроскопа, умноженного на увеличение системы окуляр + фотообъектив (см. формулу (25)):

$$g = \frac{160}{f_{\text{об}}} \cdot \frac{f_{\text{об}}}{f_{\text{ок}}}. \quad (32)$$

Допустим, что для съемки используется фотоаппарат «ФЭД» с объективом $f = 50 \text{ мм}$, окуляр $f = 12,5 \text{ мм}$ (собственное увеличение 20^x) и объектив микроскопа $f = 16 \text{ мм}$ (собственное увеличение 10^x). Тогда

$$g = \frac{160}{16} \cdot \frac{50}{12,5} = 40.$$

Сравним полученное увеличение с тем, которое у нас было при визуальном наблюдении до установки фотоаппарата:

$$g = \frac{160}{16} \cdot \frac{250}{12,5} = 10 \cdot 20 = 200.$$

Из сравнения видно, что общее увеличение уменьшилось в пять раз — с 200 до 40. Это произошло потому, что числитель дроби, показывающей увеличение окуляра, уменьшился тоже в пять раз — с 250 до 50, тогда как знаменатель (фокусное расстояние окуляра — 12,5 мм) остался без изменений.

Отсюда видно, что при съемке с относительно короткофокусными фотообъективами линейное увеличение системы окуляр + фотообъектив сильно снижается. Это и понятно, так как проекция происходит на короткое расстояние и изображение покрывает небольшой формат кадра.

Если вместо аппарата «ФЭД» установить аппарат «Фотокор-1» с объективом $f = 135$ мм, то увеличение будет равно

$$g = \frac{160}{16} \cdot \frac{135}{12,5} = 10 \cdot 10,8 = 108.$$

Здесь линейное увеличение уменьшилось примерно в два раза.

Очевидно, чтобы получить такое же увеличение, как и при визуальном наблюдении в микроскоп, надо применить объектив с фокусным расстоянием 250 мм при соответствующем формате кадра.

Из формулы (31) следует, что масштаб изображения возрастает с увеличением фокусного расстояния фотообъектива и с уменьшением фокусного расстояния окуляра.

При съемке короткофокусными объективами в сочетании со слабыми длиннофокусными окулярами мы получим в кадре все поле изображения микроскопа, ограниченное кругом окулярной диафрагмы. Длиннофокусные фотообъективы передадут только центральную часть поля.

Например, при съемке малоформатной камерой 24×36 мм с фотообъективом $f = 35$ мм и окуляром 7^x диаметр круга изображения будет равен 18 мм. Он свободно уместится в поперечнике кадра. С фотообъективом $f = 50$ мм и с тем же окуляром диаметр круга возрастет до 25 мм. Он будет немного больше поперечника кадра, а с фотообъективом $f = 135$ мм диаметр круга увеличится до 68 мм. Края поля изображения микроскопа выйдут за пределы кадра. Произойдет то же, что и при обычной съемке. Масштаб изображения будет возрастать с увеличением фокусного расстояния фотообъектива.

Если фотоаппарат имеет один объектив, то для получения в кадре всего поля изображения микроскопа надо пользоваться слабыми длиннофокусными окулярами. Это выгодно еще и потому, что слабые окуляры, обладающие меньшей оптической силой, не столь отрицательно влияют на качество работы фотообъектива, как сильные короткофокусные окуляры.

В табл. 15 приведены размеры диаметра круга изображения для объективов и окуляров различного фокусного расстояния.

Таблица 15

Диаметр круга изображения в мм при съемке с объективом в фотокамере

Фотообъек- тивы, f в мм	Кратности увеличений и фокусные расстояния окуляров					Формат кад- ра, см
	5x 50 мм	7x 35 мм	10x 25 мм	15x 17 мм	20x 12,5 мм	
35	16	18	18	22	22,5	$2,4 \times 3,6$
50	23	25	26	33	32	$2,4 \times 3,6$
85	39	43	44	55	54,5	$2,4 \times 3,6$
110	50	54	57	71	70	6×9 ($6,5 \times 9$)

С увеличением расстояния между окуляром и фотообъективом масштаб изображения не изменяется, но размер поля будет ограничен диаметром оправы глазной линзы окуляра, которая будет получаться в виде нерезкого круга.

Съемка через микроскоп с использованием объектива фотоаппарата имеет свои недостатки, с которыми нельзя не считаться.

Всякая дополнительная оптическая система, действующая совместно с фотообъективом, ухудшает качество работы последнего (рис. 57). Возрастают значения aberrаций, исправленных в объективе, вследствие чего снижается резкость изображения, и в особенности в краевых лучах. Все эти ухудшения становятся тем больше, чем короче фокусное расстояние окуляра.

Применение фотообъектива вызывает потери света в системе микроскоп + фотокамера, освещенность изображения на фотослое снижается.

В силу этих обстоятельств фотографирование через микроскоп обычно производится без объектива в фотокамере.

ОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ СЪЕМКЕ С ОДИМ ОБЪЕКТИВОМ МИКРОСКОПА

При съемке через микроскоп объектив фотоаппарата удаляется, его заменяет оптическая система микроскопа.

Чтобы получить действительное изображение, необходимо изменить фокусировку микроскопа, перестроить ход лучей таким образом, чтобы микроскоп действовал как проекционный прибор.

На рис. 57 показан ход лучей и построение изображения при съемке только одним объективом микроскопа, без окуляра.

Объектив отбрасывает изображение $A'B'$ не в плоскость окулярной диафрагмы, а значительно выше, на матовое стекло фотокамеры. Последняя укреплена в вертикальном положении над тубусом микроскопа. Центр матового стекла должен совпадать с оптической осью микроскопа.

Чтобы получить проекцию изображения на большее расстояние, необходимо уменьшить предметное расстояние объектива, придинув его ближе к предмету AB .

Напомним, что если предмет будет расположен в передней фокальной плоскости объектива, то изображение окажется в бесконечности (см. рис. 35). Всякое увеличение расстояния b до изображения связано с уменьшением расстояния a до предмета (см. рис. 33 и 34).

Ход лучей на рис. 57 в принципе ничем не отличается от хода лучей, изображенного на рис. 34. С таким ходом лучей мы встречаемся при макросъемке, когда получаем увеличенное изображение предмета.

Снимать без окуляра можно только с очень слабыми объективами микроскопа или с микроанастигматами, рассчитанными для работы без окуляров.

Фокусировка изображения производится макровинтом микроскопа по матовому стеклу фотокамеры.

Линейное увеличение определяется отношением

$$G = \frac{\text{Расстояние от объектива до изображения}}{\text{Расстояние от объектива до предмета}}.$$

Расстояние от объектива до изображения складывается из двух расстояний — механической длины тубуса (160 мм) и расстояния R от верхнего конца тубуса до плоскости изображения. Последнее равно растяжению меха фотокамеры.

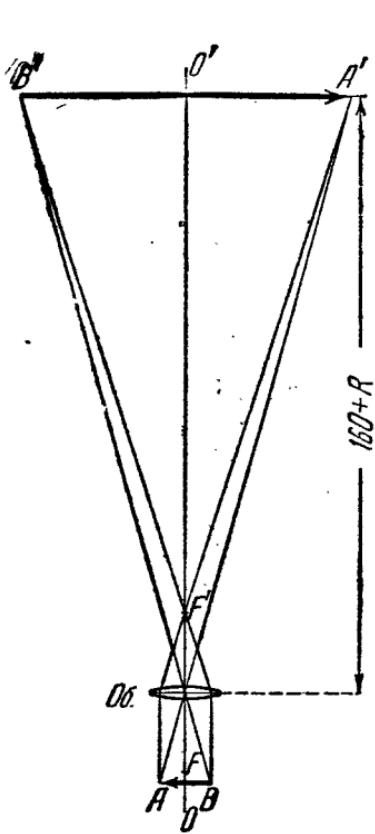


Рис. 57. Ход лучей при съемке одним объективом микроскопа:
Об.—объектив, F —передний фокус объектива, F' —задний фокус объектива, AB —предмет, $A'B'$ —изображение, R —растяжение меха фотокамеры, $00'$ —оптическая ось микроскопа

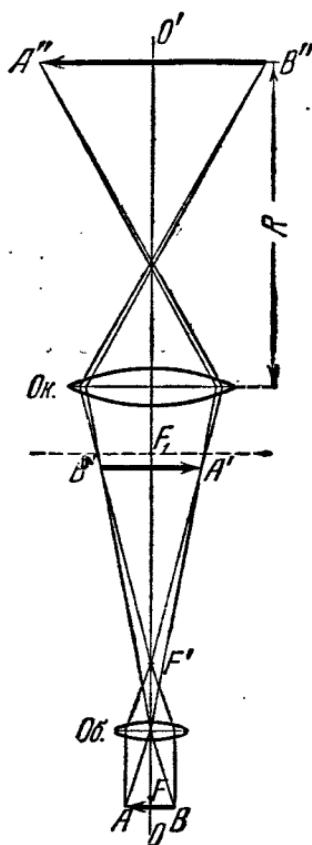


Рис. 58. Ход лучей при съемке объективом и окуляром:

Об.—объектив, $Oк.$ —окуляр, F —передний фокус объектива, F' —задний фокус объектива, $F_{\text{ок}}$ —передний фокус окуляра, $F'_{\text{ок}}$ —задний фокус окуляра, AB —предмет, $A'B'$ —промежуточное изображение, $A''B''$ —изображение на матовом стекле фотокамеры, R —растяжение меха фотокамеры, $00'$ —оптическая ось микроскопа

Расстояние от объектива до предмета принимается равным фокусному расстоянию объектива (см. формулу (24)). Тогда

$$G = \frac{160 + R}{f_{\text{об}}}. \quad (33)$$

ОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ СЪЕМКЕ С ОБЪЕКТИВОМ И ОКУЛЯРОМ

На рис. 58 показан ход лучей и построение изображения при наличии всей оптической системы микроскопа — объектива и окуляра.

Как видно из схемы, окуляр O_k отбрасывает не мнимое, а действительное изображение $A''B''$. Это возможно только в том случае, если промежуточное изображение $A'B'$, образованное объективом, располагается впереди передней фокальной плоскости F_1 окуляра, а не позади нее (см. рис. 37).

В данном случае изображение $A'B'$ находится на более коротком расстоянии от объектива, чем при визуальном наблюдении в микроскоп.

Если расстояние от объектива до промежуточного изображения уменьшилось, то предметное расстояние должно, наоборот, увеличиться.

Чтобы получить действительное изображение на матовом стекле фотоаппарата, надо отодвинуть объектив от предмета AB .

Построение изображения окуляром по существу ничем не отличается от построения изображения объективом. Предмет AB и промежуточное изображение $A'B'$ располагаются впереди передних фокальных плоскостей каждой системы. Окончательное изображение $A''B''$ оказывается дважды перевернутым, прямым по отношению к AB , действительным и увеличенным.

Увеличение будет равно произведению из собственных увеличений объектива и окуляра.

Собственное увеличение объектива по-прежнему равно отношению $\frac{160}{f_{об}}$. Незначительное изменение расстояния от объектива до промежуточного изображения по сравнению с механической длиной тубуса микроскопа практически не влияет на степень увеличения.

Собственное увеличение окуляра будет равно отношению расстояния R от глазной линзы окуляра до плоскости действительного изображения к фокусному расстоянию окуляра. Тогда

$$G = \frac{160}{f_{об}} \cdot \frac{R}{f_{ок}}, \quad (34)$$

где G — общее фотографическое увеличение;

R — растяжение меха фотокамеры.

Если растяжение меха фотокамеры равно 250 мм, то формула (34) ничем не будет отличаться от формулы (25). Увеличение при съемке будет равно увеличению при наблюдении.

Фокусировка микроскопа производится обычным путем — вращением микрометрического винта до получения резкого изображения на матовом стекле фотокамеры.

Изменение фокусировки практически не отражается на собственном увеличении объектива, однако это может повлиять на качество изображения.

Объективы микроскопа исправляются для определенных рабочих расстояний. Такими расстояниями являются длина тубуса микроскопа и предметное расстояние объектива.

При установке объектива на предметное расстояние изображение отбрасывается в плоскость окулярной диафрагмы.

Изменяя фокусировку объектива для получения действительного изображения, мы тем самым увеличиваем предметное расстояние и уменьшаем расстояние до промежуточного изображения. Это вызывает недоисправленность объектива к различного рода aberrациям.

Для слабых и даже средних объективов нарушение рабочих расстояний не играет существенной роли. Для сильных объективов сдвиг изображения относительно визуальной точки фокуса может привести к ухудшению резкости изображения.

В связи с этим при работе с сильными объективами фокусировку микроскопа рекомендуется производить другими способами, не изменяя рабочих расстояний объектива.

Специальные фотографические окуляры, рассчитанные на получение действительного изображения, не нарушают рабочих расстояний объектива.

При фокусировке действительного изображения передвижением глазной линзы проекционного окуляра промежуточное изображение, отброшенное объективом, остается на месте.

МИКРОФОТОГРАФИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Микроскоп является главной частью микрофотографической установки. Качество изображения в первую очередь определяется хорошо отрегулированным микроскопом и правильно установленным светом.

Конструкция фотоаппарата имеет второстепенное значение. От совершенства фотоаппарата в основном зависят быстрота и удобство работы.

Большинство имеющихся в продаже фотоаппаратов можно приспособить для микрофотографии.

Выбор камеры определяется характером микрофотографических работ.

Все существующие микрофотокамеры можно примерно разделить на три основные группы:

1) камеры с раздвижным мехом,

2) камеры с постоянным расстоянием до светочувствительной поверхности,

3) камеры для работы на 35-мм кинопленке.

Помимо этого существуют так называемые универсальные, или комбинированные, микроаппараты, где фотокамера органически вошла в конструкцию микроскопа.

С помощью этих приборов можно производить наблюдение и съемку всевозможных объектов в проходящем и отраженном свете на светлом и темном поле. Они снабжаются большим набором принадлежностей и сменных деталей и позволяют фотографировать на различный формат кадра, обычно 9×12 см и 24×36 мм. В некоторых универсальных аппаратах предусмотрена возможность присоединения кинокамеры, работающей на узкую или стандартную 35-мм кинопленку.

Из числа таких аппаратов известны «Ультрафот» Цейсса, «Панфот» Лейтца, МБИ-6 отечественного производства.

Все микрофотографические работы, выполняемые с помощью биологического микроскопа, делятся на два основных вида: 1) съемка живых объектов или процессов, находящихся в движении, и 2) съемка неподвижных объектов.

При изучении движущихся объектов возникает необходимость фотографирования отдельных фаз движения. Во многих случаях фазы движения бывают кратковременными, а сам процесс движения зачастую трудно воспроизвести заново.

Для таких работ удобнее иметь насадочную или малоформатную камеру, соединенную с микроскопом и в любой момент готовую к съемке.

Камера снабжается визиром, через который ведется наблюдение за процессом движения.

Малоформатные камеры особенно удобны для получения серии снимков движущегося объекта.

Для съемки неподвижных объектов, имеющих к тому же мелкую структуру, выгоднее применять крупноформатные камеры с раздвижным мехом. Здесь нет необходимости держать камеру в постоянной готовности к съемке.

Малоформатные камеры имеют преимущество в том, что они портативны и занимают мало места, но при лабораторных исследовательских работах вес и габариты камеры не имеют столь существенного значения. Более того, снимок крупного формата обладает рядом достоинств, на которые следует указать.

Крупноформатный негатив не требует последующего увеличения, он легче поддается оценке в смысле фотографических качеств и передачи мелкой структуры.

Каждая снятая пластинка или форматная пленка может быть тут же проявлена. В случае необходимости можно использовать для съемки отдельных препаратов разный негативный материал. Наводка на резкость в крупноформатных камерах производится более точно по матовому или прозрачному стеклу.

Для фотолюбителей более удобны камеры с постоянным расстоянием до светочувствительного слоя или камеры для работы на 35-мм кинопленке.

КАМЕРЫ С РАЗДВИЖНЫМ МЕХОМ

В большинстве случаев это крупноформатные камеры размером 13×18 , 18×24 и 20×25 см, реже встречаются камеры размером 9×12 см.

На рис. 60 изображена камера 13×18 см с растяжением меха до 500 мм. Камера снабжена оптической скамьей, на которой установлены осветительный прибор с лампой нагревания и держатель для фильтров.

Перед началом работы микроскоп устанавливается так, чтобы центр изображения окулярной диафрагмы совпал с центром матового стекла. После этого ножка микроскопа прочно закрепляется металлической скобой на массивной площадке камеры. Микроскоп соединяется с камерой посредством светонепроницаемого переходного тубуса.

Для устранения вибраций, возникающих по тем или иным причинам, лежащая площадка камеры снабжается резиновыми амортизаторами.

Сильные вибрации могут оказаться серьезной помехой при съемке через микроскоп. Поэтому микрофотографиче-

ские аппараты рекомендуется устанавливать в помещениях, расположенных вдали от действующих силовых установок (моторов, станков и т. п.).

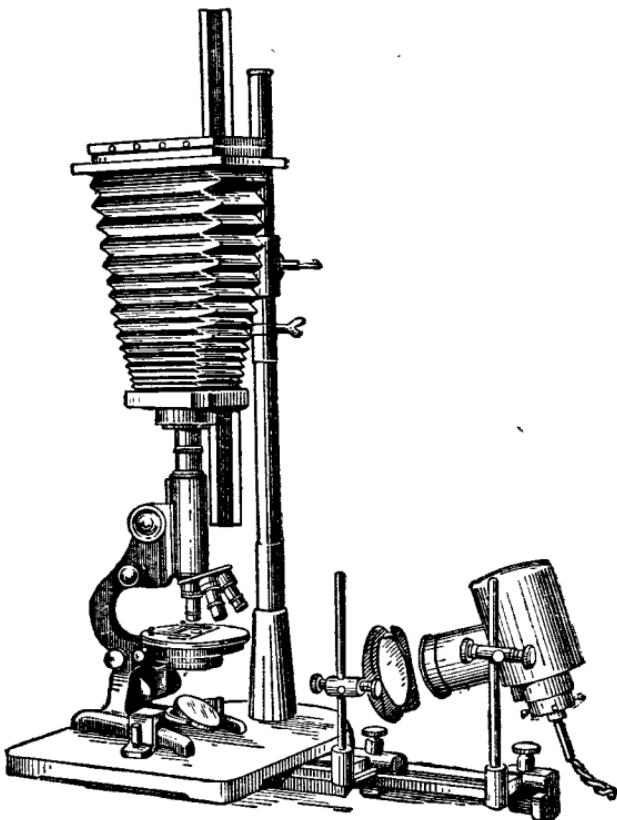


Рис. 60. Вертикальная фотокамера 13×18 см

Матовое стекло камеры и предметный столик микроскопа должны быть расположены горизонтально и параллельно друг к другу.

Если микроскоп устанавливается на литую площадку камеры, то сначала выравнивается сама камера, а потом микроскоп. Выверка производится с помощью маленького уровня, который кладется на матовое стекло, а затем переносится на предметный столик микроскопа.

Проверка горизонтальности необходима не только из соображений оптического порядка, но также и для работы с жидкими препаратами.

Полезное увеличение при микрофотографии определяется по формулам (29) и (30), куда входит и увеличение, полученное за счет растяжения меха камеры; при этом не имеет значения, достигнуто ли это увеличение за счет сильного окуляра и малого растяжения меха или же за счет слабого окуляра и большого растяжения меха.

Выбор кадра и предварительная наводка на резкость производится по матовому стеклу камеры. Для более точной наводки матовое стекло заменяется прозрачным плоскопараллельным стеклом с хорошей полировкой плоскостей. Наводка производится по воздушному изображению с помощью лупы, установленной поверх стекла.

Для удобства работы вертикальную камеру и микроскоп целесообразно установить на низких, но прочных деревянных скамьях. Камера устанавливается на скамье высотой 35—40 см, микроскоп и осветительный прибор на другой скамье — высотой 20—25 см (см. рис. 63).

Тогда, стоя на полу, можно наблюдать изображение на матовом стекле и производить фокусировку при большом растяжении меха.

Большие вертикальные камеры обычно не имеют затворов. Экспонирование производится посредством свето-непроницаемой заслонки, поставленной на пути световых лучей, идущих от осветительного прибора к зеркалу микроскопа. Для кратковременных выдержек можно установить затвор перед зеркалом микроскопа или вмонтировать его на переднюю доску камеры.

Крупноформатные камеры позволяют производить съемку и на меньший размер пластиинок или пленок с использованием соответствующих вкладышей в кассетах.

Неудобство таких камер состоит в том, что при большом растяжении меха и при наводке на резкость в лупу, установленную на прозрачном стекле, трудно достать руками макро- и микрометрический винты микроскопа. Приходится пристраивать специальные передаточные приспособления — рычаги или тросы, соединенные с головками винтов установки микроскопа на резкость и препаратороводителя.

Чтобы устранить это неудобство, некоторые камеры снабжены большим круглым зеркалом, расположенным наклонно над матовым стеклом. В зеркале хорошо видно изображение на матовом стекле, но для точной фокусировки приходится все же пользоваться прозрачным стеклом и лупой.

Еще более удобны зеркальные камеры с раздвижным мехом. На рис. 61 изображена камера ФМН-3 для формата кадра 9×12 см.

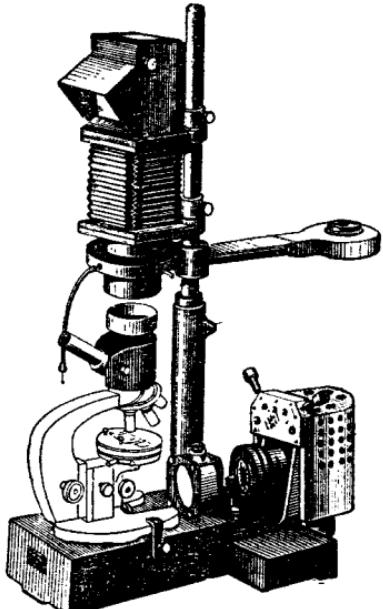


Рис. 61. Зеркальная фотокамера ФМН-3

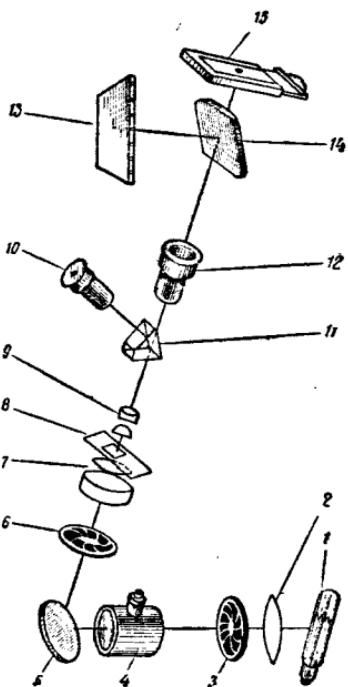


Рис. 62. Схема микроскопа и фотокамеры ФМН-3:

1 — лампа накаливания, 2 — коллекторная линза, 3 — диафрагма осветительного прибора, 4 — кювета для жидкого теплофильтра, 5 — зеркало микроскопа, 6 — диафрагма конденсора, 7 — конденсор, 8 — препарат, 9 — объектив микроскопа, 10 — окуляр для визуального наблюдения, 11 — призма, 12 — фотоокуляр, 13 — матовое стекло, 14 — зеркало камеры, 15 — кассета

В верхней части камеры расположено наклонное зеркало, которое направляет световые лучи на матовое стекло, установленное сбоку. Над зеркалом располагается кассета с фотопластинкой или фотопленкой (см. схему рис. 62).

При фотографировании зеркало выключается из хода лучей особым рычагом.

Камера может работать с микроскопами МБИ-1 или МБИ-3. Тубус микроскопа удаляется, и на его место ста-

вится специальная призматическая насадка с фотоокуляром или гомалом (рис. 61). Призматическая насадка имеет боковой окуляр для визуального наблюдения и выбора участка препарата для съемки. Окончательная наводка на резкость производится по матовому стеклу. При съемке призма выводится в сторону.

Осветительное устройство соединено с неподвижной базой стойки и состоит из источника света (лампы накаливания), коллекторной линзы, диафрагмы, держателя для светофильтров и кюветы для жидкого теплофильтра.

В качестве источника света служит лампа проекционного типа мощностью 170 вт, работающая при напряжении 17 в от трансформатора понижения ТР-17.

Освещение осуществляется по нормальной схеме с проекцией изображения диафрагмы поля в плоскость объекта.

Затвор вмонтирован в нижнюю часть камеры.

Дополнительная регулировка линейного увеличения производится изменением растяжения меха камеры.

При отсутствии специальной микрофотографической установки можно использовать любой пластиночный или пленочный фотографический аппарат с двойным или тройным растяжением меха. Наиболее подходящими для этой цели являются универсальный фотоаппарат «Фотокор-1» размером 9×12 см с растяжением меха 270 мм или фотоаппараты «ФК» размером 13×18 и 18×24 см с растяжением меха 420 и 600 мм.

На рис. 63 изображена самодельная микрофотографическая установка с камерой «Фотокор-1». Объектив из аппарата удален, и на его место поставлена небольшая алюминиевая трубка длиной 3 см, черненная изнутри.

Камера соединена с микроскопом светонепроницаемым чехлом из кусочка черного бархата. Длина чехла 6—7 см. На обоих концах чехла защиты круглые резинки, которые вверху плотно обхватывают закраину алюминиевой трубы, а внизу тубус микроскопа.

Камера укреплена на вертикальной штанге увеличителя «Фотам» (можно использовать увеличители «У-2», «Москва» или любые аналогичные конструкции).

Аппарат повернут на 180° против обычного положения увеличителя. Это позволяет рациональнее использовать всю длину штанги.

Чтобы иметь возможность производить наблюдения непосредственно в окуляр микроскопа, необходимо пред-

усмотреть вывод камеры в сторону, не передвигая ее вверх.

Для этого на штангу надевается зажимное кольцо высотой 1—1,5 см. Кольцо свободно передвигается по штанге вверх и вниз и устанавливается непосредственно под муфтой

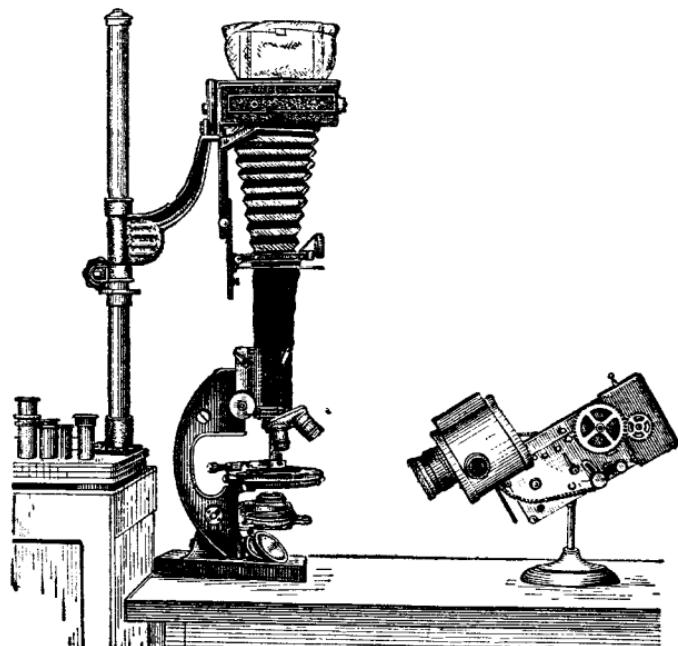


Рис. 63. Аппарат „Фотокор-1“, приспособленный для микрофотографии

кронштейна. Если нужно вывести камеру в сторону, то освобождается только зажим муфты, и последняя, опираясь на кольцо, может быть повернута вместе с камерой под любым углом.

Центральный затвор аппарата остается на месте и используется для экспонирования пластинок.

В целях устранения вибраций, возникающих от работающего затвора или вкладывания и открывания кассет, стол, на котором установлен аппарат, отделяют небольшим промежутком от скамьи, несущей микроскоп и осветительный прибор.

КАМЕРЫ С ПОСТОЯННЫМ РАССТОЯНИЕМ ДО СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Эти камеры не столь универсальны, как предыдущие. Корпус камеры изготавливается обычно из дюраля. Высота камеры не превышает 25 см.

Камеры, имеющие постоянное расстояние, выпускаются следующих размеров: $4,5 \times 6$; $6,5 \times 9$; 9×12 и 10×15 см.

Камеры двух последних размеров слишком тяжелы для насадочных камер и могут вызвать сползание тубуса микроскопа. Поэтому такие камеры часто снабжаются опорой в виде вертикальной штанги с муфтой, соединенной жестким кронштейном с корпусом аппарата.

Чем меньше размер камеры, тем соответственно меньше ее высота, а следовательно, и линейное увеличение, которое доходит до $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{3}$, увеличения при визуальном наблюдении.

Существует большое количество разнообразных конструкций подобных камер.

Одни камеры работают с обычными окулярами микроскопа, преимущественно с компланатическими или компенсационными.

Другие камеры снабжаются одним постоянным окуляром, рассчитанным для работы с объективами ахроматами или апохроматами.

Третий имеют сменные фотографические окуляры различного увеличения.

Большинство камер с постоянным расстоянием снабжается призматическим визиром, с помощью которого производится наводка на резкость и наблюдение за препаратом. Это особенно важно в случае съемки объекта в движении (см. рис. 64 и 65).

В некоторых случаях наличие визира не исключает возможности наводки на резкость по матовому или прозрачному стеклу.

Однако пользоваться стеклом при больших увеличениях весьма затруднительно, так как замена стекла на кассету может нарушить фокусировку микроскопа.

Камеры с постоянным расстоянием обычно снабжаются затвором, помещенным между визиром и корпусом камеры. Затворы бывают различных конструкций, начиная от простейших, работающих с выдержкой и с какой-либо по-

стойкой скоростью, например $\frac{1}{10}$ сек., и кончая сложными центральными затворами.

На рис. 64 изображена призматическая микрофотонасадка МФН-1, которая применяется с камерами МФК-1

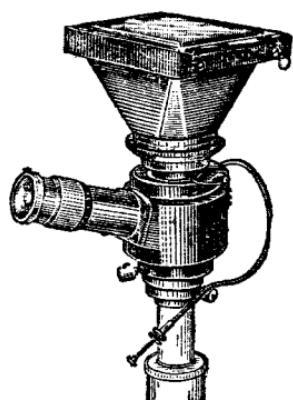


Рис. 64. Призматическая микрофотонасадка МФН-1 с камерой $6,5 \times 9$ см

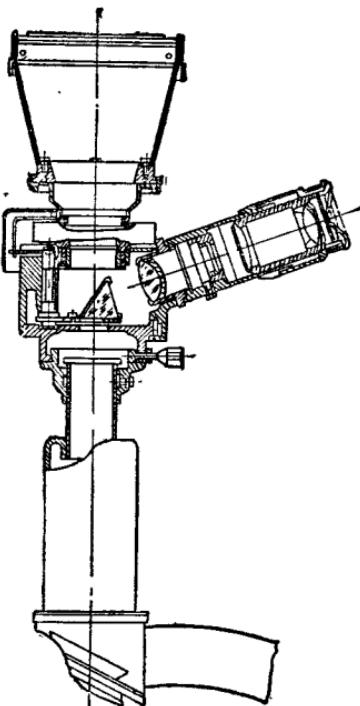


Рис. 65. Схема устройства микрофотонасадки МФН-1 с камерой $6,5 \times 9$ см

($6,5 \times 9$ см), МФК-2 (9×12 см) и МФК-3 (малоформатная, 24×36 мм).

Фотонасадка может быть установлена на любой биологический микроскоп, имеющий наружный диаметр окуляреного тубуса 25 мм.

МФН-1 состоит из корпуса, куда заключена откидывающаяся призма; фотозатвора, снабженного спусковым тросиком; визирной трубки с окуляром; фланца для присоединения одной из трех камер и зажимного кольца для закрепления насадки на тубусе микроскопа.

Положение плоскости изображения в окуляре визира соответствует положению изображения на фотопластинке. Поэтому наводка на резкость может производиться через окуляр визира.

Фотонасадка МФН-1 используется с окулярами микроскопа.

При нажиме на кнопку спускового тросика автоматически выключается из хода световых лучей призма и приводится в действие затвор камеры.

Камеры с постоянным расстоянием находят широкое применение в клиниках, в производственных лабораториях, в научно-исследовательских институтах для производства серийных съемок.

КАМЕРЫ ДЛЯ РАБОТЫ НА 35-мм КИНОПЛЕНКЕ

Эти камеры хорошо известны фотографам-любителям и профессионалам..

Легче всего соединить с микроскопом малоформатные зеркальные камеры типа «Зенит», «Контакс D», «Экзакта» и т. п. Выбор кадра и наводка на резкость в этих аппаратах производятся по матовому стеклу.

Камеру можно установить над окуляром микроскопа, используя для этого металлическую или деревянную стойку, прочный штатив с наклонной головкой, струбцину и, наконец, репродукционный кронштейн и штангу с доской от увеличителя.

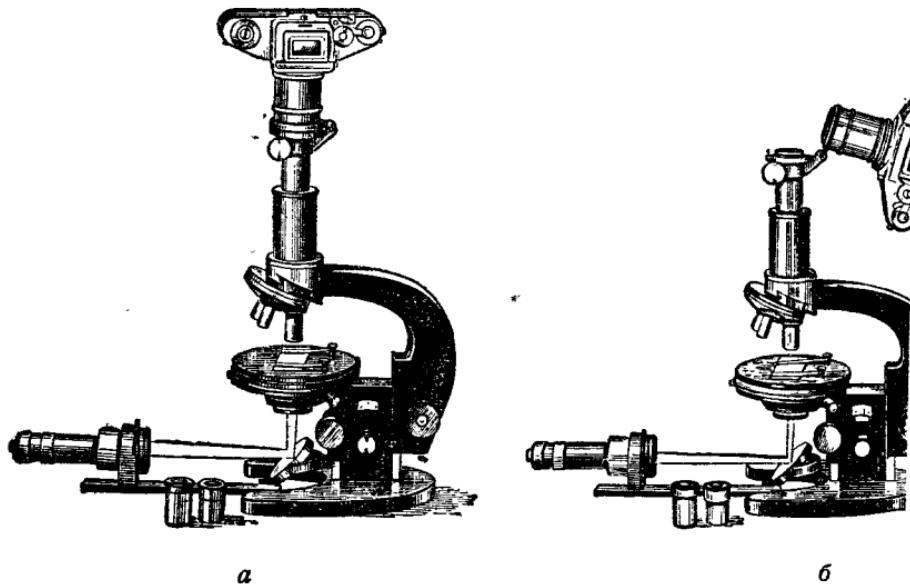


Рис. 66. Зеркальная камера „Экзакта“ с откидным шарнирным устройством:

a — положение для съемки, *b* — положение для наблюдения

Объектив из аппарата удаляется, и на его место ставится алюминиевая трубка длиной 3 см. Трубка соединяется с тубусом микроскопа чехлом из черного бархата. Удобнее иметь два сменных чехла разной длины.

Изменяя высоту расположения камеры над микроскопом и применяя бархатные чехлы различной длины, можно всякий раз находить наивыгоднейшее расстояние камеры относительно окуляра. Можно заменить бархатные чехлы небольшим раздвижным мехом, заканчивающимся круглой трубкой, надеваемой на тубус микроскопа.

Таким образом, все это простое устройство превращается в миниатюрную установку, похожую на камеру с раздвижным мехом.

Наводка на резкость и выбор участка объекта по матовому стеклу зеркальной камеры требуют известных навыков. Гораздо удобнее, если камера снабжена откидным устройством (рис. 66) или отводится в сторону (рис. 67),

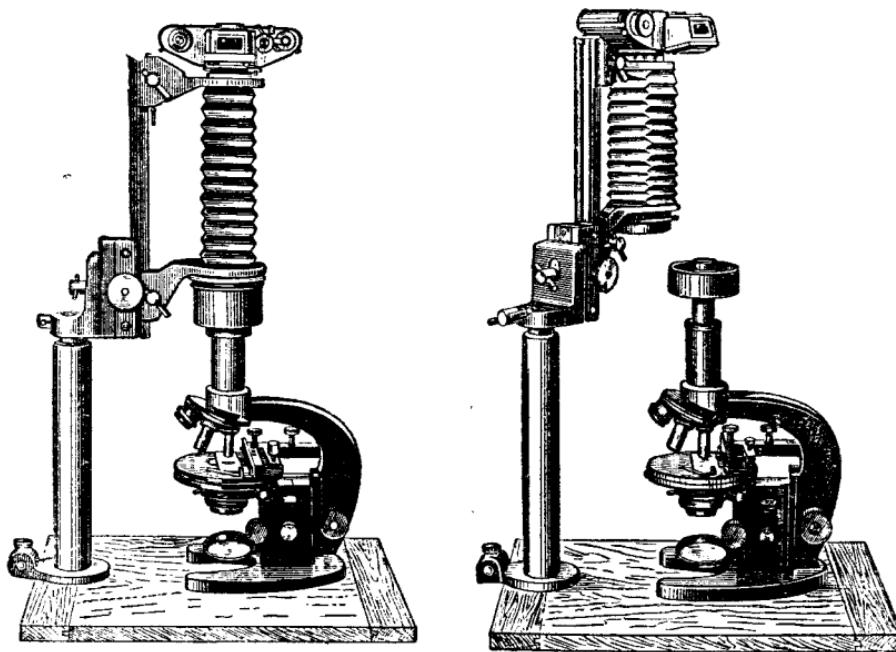


Рис. 67. Зеркальная камера „Экзакта“ с раздвижным светозащитным мехом на специальном репродукционном штативе:

a — камера соединена с микроскопом для съемки,
b — камера выведена в сторону для визуального наблюдения

открывая доступ к окуляру микроскопа для визуального наблюдения и в случае необходимости для смены окуляров.

Малоформатные камеры «ФЭД», «Зоркий», «Киев», у которых наводка на резкость осуществляется с помощью дальномера и шкалы расстояний, соединяются с микроскопом при посредстве различных призматических устройств, которые включаются между корпусом камеры и тубусом микроскопа.

Схема хода лучей в призматическом визире показана на рис. 68.

Промежуточное изображение, отброщенное объективом совместно с полевой линзой окуляра O_k , располагается в передней фокальной плоскости F_1 глазной линзы.

По выходе из окуляра световые лучи попадают в полу-посеребренную призму P , откуда часть света идет вверх, к линзе L , а другая часть, отклоненная призмой под углом 90° , направляется в телескопический окуляр O_t .

Линза L действует как хрусталик глаза или как фотографический объектив, установленный на бесконечность. Параллельный пучок света линза L собирает в точке F'_1 .

Горизонталь $A''B''$ обозначает плоскость действительного изображения, где располагается светочувствительная поверхность кинопленки.

Телескопический окуляр O_t действует по принципу зрительной трубы. Параллельные лучи, идущие из бесконечности, фокусируются в точке F_2 и выходят из глазной линзы параллельным пучком. В плоскости, проходящей через точку F_2 , располагается изображение, образуемое передней объективной линзой телескопического окуляра.

При аккомодации

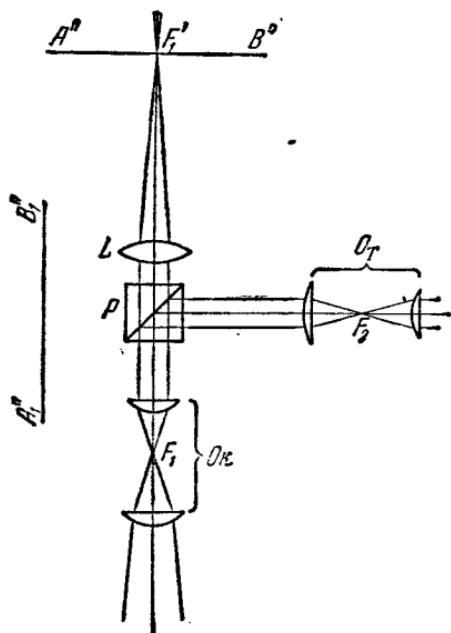


Рис. 68. Схема призматического визира

глаза на бесконечность мы увидим мнимое и увеличенное изображение, обозначенное на схеме прямой $A''_1 B''_1$.

Линза L и телескопический окуляр O_t подбираются таким образом, чтобы изображение объекта было одинаково резким как на пленке, так и при наблюдении в окуляр O_t .

Перед началом работы глазная линза телескопического окуляра устанавливается по глазу. Это достигается передвижением линзы до получения резкого изображения креста нитей или особой шкалы, расположенной в плоскости F_2 . После этого производится фокусировка микроскопа обычным путем.

На рис. 69 изображена призматическая микрофотонасадка МФН-1 с малоформатной камерой МФК-3. Последняя представляет собой несколько измененный фотоаппарат «Зоркий-3» с затвором, дающим выдержки от 1 до $\frac{1}{1000}$ сек. и длительные выдержки при установке затвора на В и Д.

На рис. 70 показано простое устройство для съемки на формат кадра 24×36 мм. В качестве фотокамеры использован репродукционный фотоувеличитель «РУ». Объектив из увеличителя удален, и на его место установлена алюминиевая трубка, соединенная бархатным чехлом с тубусом микроскопа. Наводка на резкость производится по матовому стеклу или по воздушному изображению с помощью установочной лупы и прозрачного стекла. Передвижение пленки осуществляется так же, как и при съемке репродукций.

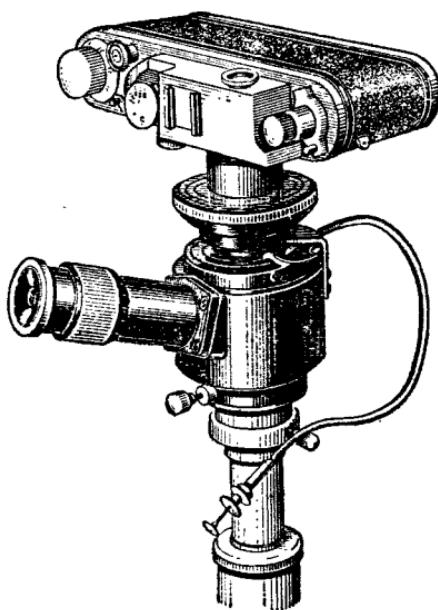


Рис. 69. Призматическая микрофотонасадка МФН-1 с малоформатной камерой МФК-3

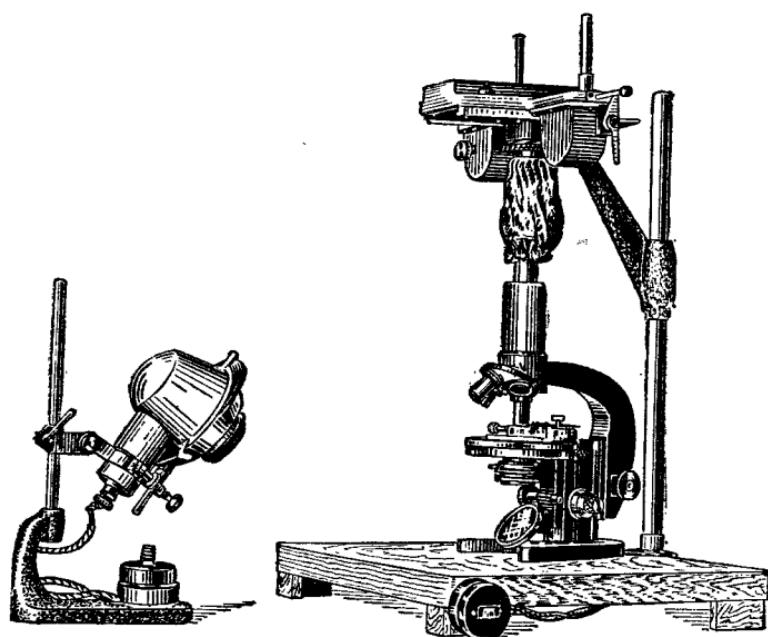


Рис. 70. Репродукционный фотоувеличитель „РУ“, используемый в качестве камеры для микрофотосъемки на формат кадра 24×36 мм

ОСВЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТА

Осветительное устройство для микрофотографии состоит из следующих основных частей:

- 1) осветительного прибора с источником света — лампой накаливания или дуговой лампой;
- 2) коллекторной линзы с ирисовой диафрагмой;
- 3) свето- и теплофильтра, устанавливаемого на пути светового пучка, идущего от осветительного прибора к зеркалу микроскопа.

ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Наиболее употребительными источниками света в микрофотографии являются лампы накаливания, дуговые и ртутные лампы.

Для начинающего заниматься микрофотографией выбор лампы накаливания ввиду многообразия конструкций представляет некоторые затруднения.

Основной оценкой при выборе лампы являются ее световая отдача, электрическая мощность и форма тела накала.

Наиболее подходящими являются лампы проекционного типа, отличающиеся повышенной световой отдачей.

Тело накала лампы должно представлять собой компактную спираль с близким расположением отдельных витков. Спираль не должна быть расположена широко, с большими просветами между витками, как это делается у обычных бытовых ламп.

По внешнему виду тело накала должно представлять собой светящуюся площадку или плоскость того или иного размера.

Необходимо иметь в виду, что изображение тела накала лампы отбрасывается в плоскость ирисовой диафрагмы конденсора и должно заполнять ровным светящимся пятном входное отверстие конденсора.

При широко расставленной спирали тело накала не будет целиком заполнять отверстие конденсора, что приведет к снижению полезной апертуры объектива. В поле зрения микроскопа будут видны чередующиеся темные и светлые полосы.

На рис. 76 приведены изображения различных источников света, отброшенных коллекторной линзой в плоскость ирисовой диафрагмы конденсора. Равномерное световое пятно по всей площади входного отверстия конденсора дают дуговая лампа (рис. 76, а) и проекционная лампа с близким расположением нитей накала (рис. 76, б). Лампа с широко расположенными нитями (рис. 76, в) не дает равномерного покрытия входного отверстия конденсора. Такую лампу можно использовать только с сильными рассеивателями — матовыми стеклами, установленными вблизи источника света.

Лампа должна свободно умещаться в корпусе осветительного прибора. Высота расположения тела накала не должна затруднять центрировку лампы относительно коллекторной линзы.

Большинство проекционных ламп работает в вертикальном положении — цоколем вниз — и могут быть наклонены под углом не более 15°.

Маломощные низковольтные лампы могут гореть в любом положении.

Для предохранения препарата от излишнего нагрева, а также для продления срока службы лампы полезно включить в цепь питания источника света ползунковый реостат. Подготовка к съемке ведется при пониженном напряжении

а когда все готово, реостат выключается и дается полная нагрузка на лампу.

Для удобства работы необходимо иметь несколько ламп различной мощности. Нет смысла применять сильную лампу, если по условиям работы не требуется повышенной освещенности.

Ниже приводятся краткие характеристики существующих в обращении ламп накаливания, наиболее пригодных для микрофотографии.

Низковольтная лампа К7 — 12 × 30 (рис. 71, а) работает при напряжении в 12 в от аккумулятора или трансформатора. Мощность 30 вт. Лампа имеет небольшие габариты. Колба цилиндрическая диаметром 25 мм. Лампа работает в любом положении. Тело накала биспиральное, короткое, длиной 4 мм, высотой 1,5 мм. Световой поток 528 лм.

Изображение спирали не заполняет входного отверстия конденсора. Поэтому лампу следует применять с короткофокусной коллекторной линзой с фокусным расстоянием 5—6 см. Изображение тела накала имеет вид узкой непрерывной полосы, расположенной поперек фронтальной линзы конденсора.

Лампа может быть использована с объективами слабого увеличения и с длиннофокусными объективами среднего увеличения.

Проекционная лампа К12—110 × 300 (рис. 71, б) работает от сети переменного тока напряжением в 110 в.

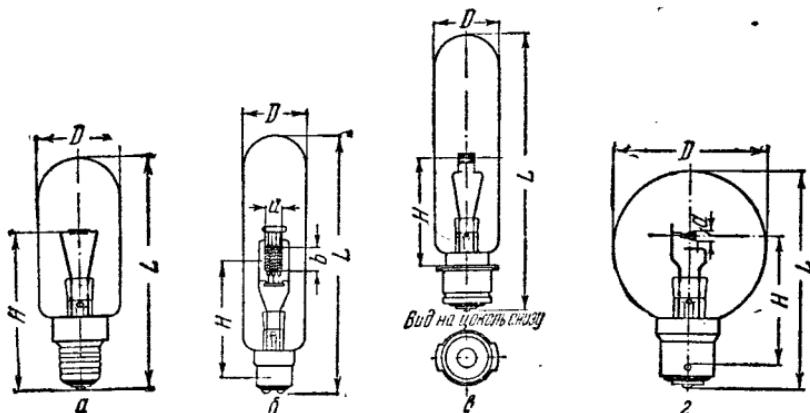


Рис. 71. Типы проекционных ламп:

а — лампа К7—12 × 30, б — лампа К12 — 110 × 300, в — лампа К22 — 30 × 400,
г — лампа СЦ62 — 12 × 100

Мощность 300 вт. Колба цилиндрическая узкая диаметром 37 мм.

Лампа работает в вертикальном положении — цоколем вниз. Световой поток 6450 лм. Размер тела накала $8 \times 8,5$ мм.

При горении лампа дает сильный нагрев. Поэтому для подготовительных работ ее следует включать через реостат или же применять обдувание колбы вентилятором.

Тело накала распределено по довольно большой площади. В связи с этим лампу следует применять с длиннофокусной коллекторной линзой $f = 10$ см.

Может быть использована с объективами разного увеличения, в зависимости от рода препарата.

Проекционная лампа К22 — 30×400 (рис. 71, в) работает при напряжении в 30 в от трансформатора понижения.. Мощность 400 вт. Колба цилиндрическая диаметром 37 мм.

Лампа работает в вертикальном положении — цоколем вниз. Световой поток 11 600 лм. Тело накала плоское размером $9 \times 6,5$ мм.

Эта лампа существенно отличается от других проекционных ламп тонкой структурой тела накала, представляющего собой сплошную светящуюся поверхность. Дает отличное заполнение входного отверстия конденсора, применяется с объективами любого фокусного расстояния.

Аналогичное устройство имеет проекционная лампа К24 мощностью 170 вт, работающая при напряжении 17 в от трансформатора ТР-17 (см. табл. 16).

Специальная лампа СЦ62— 12×100 (рис. 71, г) работает при напряжении 12 в от трансформатора понижения. Мощность 100 вт. Колба круглая диаметром 61 мм.

Лампа работает в любом положении. Световой поток 1750 лм. Тело накала в виде конической спирали диаметром 4,8 мм.

Лампу следует применять с короткофокусной коллекторной линзой с фокусным расстоянием 5—6 см. Изображение тела накала имеет форму светящегося круга, хорошо заполняющего входное отверстие конденсора.

Лампа может быть использована с объективами слабого, среднего и сильного увеличений.

Не исключена возможность использования для микрографии и других типов ламп, встречающихся в продаже.

Хорошие результаты дают низковольтные лампы с ленточным телом накала; специальные микролампы

Таблица 16

Основные характеристики проекционных ламп

Тип лампы	<i>φ</i>	<i>εтп</i>	<i>λН</i>	<i>λН</i>	Высота расположения центра тела накала <i>H</i>	Высота лампы <i>L</i>	Диаметр колбы <i>D</i>	Световой поток	Мощность	Размер тела накала			Фокусное расстояние рефлекторной коллекторной линзы
										шифр	шифр	шифр	
K7	12	30	528	25	86	60	E-14	4	1,5	50	50	5—6	
K10	12	50	1000	50	77	45	2C-15	7	1	50	50	5—6	
K12	110	300	6450	37	145	70	2C-22	8	8,5	50	50	8—10	
K14	110	500	11 000	37	155	81	Φ-42	10	10	30	30	10	
K22	30	400	11 600	37	155	60	Φ-34	9	6,5	20	20	10	
СЦ62	12	100	1750	61	88	56	2C-22	4,8	—	75	75	5—6	
K24	17	170	3900	28	150	—	Φ-34	—	—	20	20	8—10	

с небольшим телом накала, точечные лампы с вольфрамовой дугой и др.

Для работы в коротковолновых лучах спектра применяются ртутные лампы. Из них наиболее употребительные в микрофотографии — это шаровые ртутно-кварцевые лампы сверхвысокого давления СВДШ-250 и СВДШ-500, дающие излучение не только в видимой, но и в ультрафиолетовой области спектра.

Характеристики проекционных ламп помещены в табл. 16.

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР, КОЛЛЕКТОР, ДИАФРАГМА

Осветительный прибор состоит из корпуса, внутри которого помещается источник света — лампа накаливания или электрическая дуга. Выходное отверстие прибора обычно снабжается коллекторной линзой в выдвижной опправе.

Осветительный прибор должен иметь приспособление для центрировки тела накала лампы относительно центра коллекторной линзы.

Большие приборы применяются с мощными проекционными лампами — от 180 до 500 *вт*, имеющими крупное тело накала. Такие приборы снабжаются длиннофокусными коллекторными линзами с фокусным расстоянием от 8 до 10 см.

Для низковольтных ламп меньшей мощности желательно иметь второй прибор меньшего размера. Лампы с небольшим телом накала используются с короткофокусной коллекторной линзой с фокусным расстоянием от 5 до 6,5 см.

Коллекторная линза снабжается ирисовой диафрагмой и держателем для защитных фильтров и матовых стекол.

Корпус осветительного прибора должен иметь вентиляционные отверстия, не пропускающие прямых лучей света. Вместе с коллекторной линзой и отцентрированным источником света он должен подниматься и опускаться в пределах 40 см и иметь приспособление для наклона до 45° вниз от горизонтального положения¹.

¹ Большой подъем и наклон прибора используются для освещения объекта сверху при малых увеличениях.

Все вышеупомянутые приспособления располагаются в следующем порядке: источник света, перед ним коллекторная линза с держателем для защитных фильтров и матовых стекол и ирисовая диафрагма. Последняя должна быть обязательно вынесена наружу, так как ее изображение резко фокусируется конденсором микроскопа в плоскость объекта.

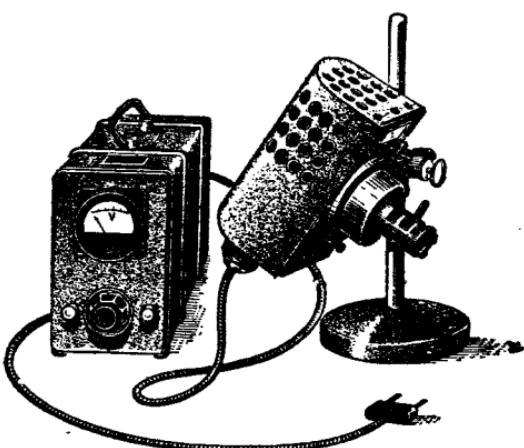


Рис. 72. Осветительный прибор ОИ-20

На рис. 72 изображен осветительный прибор ОИ-20, используемый для микрофотографии с биологическими микроскопами. Прибор снабжен проекционной лампой (17 в , 170 вт), действующей от трансформатора понижения ТР-17, и набором светофильтров.

Коллекторная линза. Всякая собирательная линза или собирательная оптическая система, отбрасывающая действительное и увеличенное изображение источника света, называется коллекторной линзой, или просто коллектором.

Собирательная линза, дающая параллельный пучок света, называется коллиматором. Параллельный пучок света можно получить от точечного источника, расположенного в фокусе коллиматора.

Одна и та же собирательная линза может действовать как коллектор и как коллиматор. Это зависит от расположения источника света относительно главного фокуса линзы.

Между диафрагмой и коллектором находится держатель для фильтров и матовых стекол.

Диафрагма служит для ограничения диаметра светового пучка, выходящего из коллектора, и для устранения излишнего рассеянного света.

Изображение отверстия диафрагмы отбрасывается конденсором микроскопа в плоскость объекта.

Объектив микроскопа вторично отбрасывает изображение диафрагмы вместе с изображением объекта в плоскость окулярной диафрагмы.

При правильной установке конденсора изображение диафрагмы коллектора должно быть отчетливо видно в поле зрения микроскопа. Таким образом, диафрагма коллектора действует как диафрагма поля. Она не влияет на освещенность изображения, но от нее зависит диаметр освещенного поля. На рис. 77 показано изображение диафрагмы коллектора, видимое в поле зрения микроскопа.

ПРОЧИЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ

К числу других принадлежностей, устанавливаемых на пути светового пучка от осветительного прибора до конденсора микроскопа, относятся рассеивающие свет матовые стекла, нейтрально серые фильтры, цветные фильтры, охладители и теплофильтры.

Матовые стекла устанавливаются обычно в держателе коллектора позади ирисовой диафрагмы. Они применяются в тех случаях, когда изображение тела накала лампы не заполняет целиком отверстия конденсора.

Освещение рассеянным светом применяется преимущественно для слабых и средних объективов, при исследовании препаратов, которые сами по себе не вызывают сильного рассеяния света.

Для снижения освещенности изображения применяются нейтрально серые фильтры. Удобнее всего их устанавливать в держателе непосредственно перед зеркалом микроскопа. Нейтрально серые фильтры применяются при установке света и фокусировке оптики микроскопа в качестве защитных фильтров для предохранения глаза от слишком яркого света.

Цветные светофильтры применяются для изменения контраста изображения и для улучшения качества работы оптической системы микроскопа.

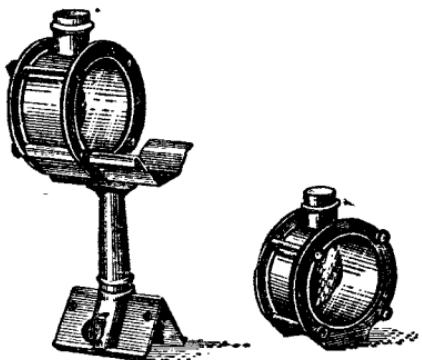


Рис. 73. Двойная фарфоровая кювета для жидким светофильтров и охладителей.

Они устанавливаются в держателе перед зеркалом микроскопа.

Охладители и теплофильтры существуют двух видов — жидкие и сухие. Они применяются для поглощения длинноволновых инфракрасных лучей, создающих избыток теплового излучения.

Охлаждение необходимо для предохранения препарата, а также оптических и механических частей микроскопа от излишнего перегрева.

Простейшим охладителем является слой дистиллированной воды толщиной в 5 см. Вода наливается в кювету с плоскопараллельными стеклянными стенками. Вместимость кюветы должна быть не менее 250 мл (рис. 73).

Раствор красителя в воде может одновременно служить жидким светофильтром избирательного поглощения.

Сухие теплофильтры приготавляются из прозрачного стекла, не пропускающего инфракрасные лучи. Эти фильтры обладают плохой теплопроводностью и при неравномерном нагреве легко трескаются. Поэтому их следует помещать в кювету с водой, где нагревание происходит более равномерно. Хорошие результаты дает замена стенок кюветы пластиинами из теплозащитного стекла.

Жидкие охладители и сухие теплофильтры следует помещать на возможно большем расстоянии от источника света. Необходимо следить за тем, чтобы металлические части кюветы или фильтродержателя не перегревались под действием прямых лучей света.

ЦЕНТРИРОВКА ИСТОЧНИКА СВЕТА И ФОКУСИРОВКА КОЛЛЕКТОРА

Любой источник света, будь то лампа накаливания или угольная дуга, должен быть тщательно отцентрирован относительно коллекторной линзы.

Для этого изображение тела накала лампы отбрасывает-

Если источник света представляет собой тело накала в виде спирали или светящейся поверхности, то получить параллельный пучок света практически невозможно. Тело накала такой лампы можно представить себе как бы состоящим из большого количества точечных источников, расположенных на разной высоте относительно главного фокуса линзы. Каждый точечный источник создает параллельный пучок, направленный под тем или иным углом к оптической оси линзы. В результате по выходе из линзы образуется расходящийся конус света, состоящий из множества параллельных пучков.

При освещении объекта проходящим светом, как и при всяком освещении концентрированным пучком света, источник должен был бы находиться вблизи конденсорной системы микроскопа. Однако поместить лампу накаливания или дугу в непосредственной близости от конденсора не представляется возможным.

Перед конденсором можно уместить лишь очень небольшую лампочку накаливания с низкой световой отдачей. Сила света такой лампы оказалась бы недостаточной для микрофотографии. Кроме того, между источником света и конденсором располагаются светофильтры, рассеивающие стекла, охладители. Поэтому вместо материального источника света используется его изображение, которое и отбрасывается коллекторной линзой в плоскость ирисовой диафрагмы конденсора.

Изображение источника света должно полностью заполнять входное отверстие конденсора. Только в таком случае апертура микроскопа будет использована наиболее рационально.

Допустим, что размер тела накала лампы равен 10 *мм* в поперечнике (см. табл. 16 — лампа К14). Диаметр передней линзы конденсора составляет 32 *мм*. Чтобы заполнить входное отверстие конденсора светом, необходимо увеличить изображение тела накала по меньшей мере в три раза.

Чем меньше тело накала, тем больше должно быть увеличение.

Степень увеличения регулируется расстоянием от коллекторной линзы до диафрагмы конденсора. Это расстояние колеблется от 30 до 40 *см*, в зависимости от размера тела накала и фокусного расстояния коллектора.

Если тело накала невелико, то применяют короткофокусную коллекторную линзу.

Чем меньше фокусное расстояние коллектора, тем больше увеличение при неизменном расстоянии до диафрагмы конденсора.

Если форма тела накала такова, что изображение источника не покрывает конденсор, стараются за счет увеличения как можно больше заполнить входное отверстие конденсора или же устанавливают матовые стекла в держателе коллектора.

Рассеянный свет дает более равномерное покрытие всей площади конденсора и не прорабатывает структуру тела накала.

Отсюда понятно, почему лампы с тесно расположеными нитями накала, с круглой или прямоугольной светящейся поверхностью дают лучший результат, чем лампы с биспиральным телом накала или обычные бытовые лампы.

Коллекторные линзы бывают двояковыпуклые или плоско-выпуклые, обращенные выпуклой стороной к источнику света.

Часто встречаются коллекторные линзы несферической формы. Внешние зоны такой линзы имеют меньшую кривизну, чем внутренние зоны. Этим достигается устранение сферической aberrации.

Склейка канадским бальзамом коллекторных линз не применяется, так как тепло, излучаемое лампой, может разрушить слой бальзама.

Коллекторная линза монтируется в выдвижной оправе, при помощи которой производится фокусировка изображения источника света в плоскость ирисовой диафрагмы конденсора.

Для получения увеличенного изображения тела накала лампы располагается между главным фокусом и двойным фокусным расстоянием линзы.

При наличии оптической скамьи коллектор и его ирисовая диафрагма могут устанавливаться отдельно от осветительного прибора на специальных подставках (рейтерах) и передвигаться вдоль скамьи вперед и назад относительно неподвижного микроскопа.

Диафрагма коллектора. Коллекторная линза должна быть снабжена ирисовой диафрагмой или сменными диафрагмами с различным диаметром отверстия.

Диафрагма монтируется либо в оправе коллектора, либо устанавливается отдельно на специальной подставке.

ся с помощью коллекторной линзы на белый лист бумаги или на стену. Вращением центрировочных винтов передвигают лампу до тех пор, пока изображение нитей накала не распределится равномерно по освещенному кругу экрана.

После того как центрировка лампы закончена, приступают к фокусировке коллекторной линзы. Для этого закрывают до отказа ирисовую диафрагму конденсора и наклоняют зеркало микроскопа так, чтобы в нем отчетливо была видна закрытая диафрагма.

Световой пучок, выходящий из коллектора, направляют на центр зеркала микроскопа и передвижением оправы коллектора фокусируют изображение источника света на матово-черной поверхности диафрагмы. Для получения более резкого изображения можно слегка сузить отверстие диафрагмы коллекторной линзы.

Другой способ фокусировки заключается в том, что изображение источника света отбрасывается на круглое матовое стекло, помещенное в держателе диафрагмы конденсора. Диафрагма должна быть полностью открыта.

Подняв тубус микроскопа насколько возможно вверх и удалив конденсор, наблюдают сверху изображение источника света на матовом стекле.

Закончив фокусировку коллектора, наклоняют зеркало микроскопа и направляют пучок света вверх через конденсор на препарат.

ФОКУСИРОВКА КОНДЕНСОРА МИКРОСКОПА

Фокусировка конденсора является одной из важнейших операций при установке света. От правильной фокусировки конденсора зависит качество освещения объекта и взаимодействие основных оптических частей всей микрофотографической установки.

Конденсор считается сфокусированным, если он отбрасывает действительное изображение отверстия диафрагмы коллектора в плоскость объекта съемки.

Фокусировка конденсора при наличии слабых объективов не представляет серьезных затруднений. С повышением увеличения эта операция становится несколько сложнее и требует определенных навыков.

В связи с этим фокусировку конденсора рекомендуется начинать с менее сильными объективами, переходя постепенно к короткофокусным объективам.

Порядок работы по фокусировке конденсора следующий:

1. После того как получено резкое изображение источника света в плоскости ирисовой диафрагмы конденсора, последнюю открывают полностью и наклоном зеркала посылают конус света в конденсор.

2. На предметный столик микроскопа кладется препарат, хорошо рассеивающий свет. Можно заменить препарат пластинкой матового стекла с мелкой структурой. После этого микроскоп фокусируется.

3. Диафрагма коллекторной линзы прикрывается до 2—3 мм в диаметре.

4. Наблюдая в окуляр, медленно передвигают конденсор до получения в поле зрения резко очерченного, круга диафрагмы.

Конденсор микроскопа отбрасывает изображение диафрагмы в плоскость препарата, а объектив микроскопа вторично фокусирует это изображение в поле зрения окуляра.

5. Наклоном зеркала располагают изображение диафрагмы в центре поля зрения.

На этом фокусировка конденсора заканчивается. На место пробного препарата устанавливается препарат для съемки и производится поправка на фокусировку микроскопа и конденсора.

Теперь остается отрегулировать две имеющиеся диафрагмы — диафрагму коллекторной линзы и диафрагму конденсора.

Отверстие диафрагмы коллекторной линзы следует раскрыть до такого размера, при котором края ее изображения сравняются с краями поля зрения.

Если отверстие диафрагмы раскрыто недостаточно, то освещенной окажется только центральная часть поля зрения, что иногда применяется при съемке блекущих или сильно рассеивающих свет препаратов. При значительном раскрытии диафрагмы избыток рассеянного света будет заливать препарат и снижать контраст изображения.

Окончательная регулировка диафрагмы поля производится по матовому стеклу фотокамеры или при наблюдении в окуляр призматического визира.

Теперь попробуем изменять отверстие ирисовой диафрагмы конденсора.

Наблюдая изображение в окуляр или на матовом стекле фотокамеры, мы увидим, как изменяется освещенность

изображения в то время, как диаметр освещенного поля остается неизменным.

Отверстие диафрагмы должно быть подобрано таким образом, чтобы световой конус лучей, входящих в конденсор, соответствовал бы углу отверстия объектива (см. рис. 55). Апертура конденсора, определяемая диаметром его диафрагмы, должна соответствовать апертуре объектива.

Поскольку апертура объектива является величиной заданной, то регулировка и изменение апертуры микроскопа в целом осуществляются ирисовой диафрагмой конденсора.

С уменьшением отверстия диафрагмы уменьшается освещенность изображения, увеличивается яркостный контраст и глубина резкости и снижается разрешающая способность.

При известных навыках можно отрегулировать диафрагму конденсора на глаз, наблюдая изображение в окуляр микроскопа и ориентируясь по освещенности, контрасту, глубине резкости и передаче мелкой структуры объекта.

Наилучшие результаты получаются, когда диаметр изображения круга диафрагмы равен $\frac{1}{10}$ от диаметра выходного отверстия объектива.

На рис. 78 показано изображение отверстия диафрагмы конденсора так, как оно выглядит при наблюдении через центрировочный окуляр в задней фокальной плоскости объектива. Внешнее серое кольцо ограничивает диаметр выходного отверстия объектива. Внутренний ярко освещенный кружок есть не что иное, как изображение диафрагмы конденсора (см. рис. 40). Мы условились называть его первичным изображением в микроскопе.

Если диафрагма раскрыта до такой величины, при которой ее изображение сравнялось с краями выходного отверстия объектива, то апертура последнего будет использована полностью.

Относительная величина изображения диафрагмы определяется следующим образом. Раскрыв диафрагму до заполнения выходного отверстия объектива, откидывают держатель в сторону и определяют диаметр диафрагмы по шкале, нанесенной на оправе. Допустим, что отверстие диафрагмы равно 20 мм. Нетрудно определить величину раскрытия диафрагмы d , если ее изображение должно

составлять $\frac{9}{10}$ от диаметра выходного отверстия объектива:

$$d = \frac{20 \cdot 9}{10} = 18 \text{ мм.}$$

Если препарат сильно рассеивает свет или контраст объекта невелик, то относительное отверстие диафрагмы может быть доведено до $\frac{7}{8}$ и даже до $\frac{3}{4}$ выходного отверстия объектива.

С уменьшением отверстия диафрагмы улучшается резкость по всему полю изображения. При работе с ахроматами диаметр отверстия диафрагмы всегда меньше, чем при работе с апохроматами.

Однако слишком узкое отверстие диафрагмы вызывает ухудшение качества изображения. Глубина резкости возрастает до такой степени, что в поле зрения появляются инородные предметы — царапины и пыль на стеклах препарата. Вокруг отдельных деталей возникают дифракционные кольца (рис. 79).

Диафрагма конденсора должна быть использована по своему прямому назначению, как диафрагма апертуры. Не следует с помощью диафрагмы снижать освещенность изображения. Для этой цели существуют нейтрально серые фильтры. Необходимо иметь в виду, что уменьшение отверстия диафрагмы ведет к снижению апертуры, а следовательно, и разрешающей способности микроскопа.

При обычной работе с микроскопом часто пренебрегают фокусировкой конденсора и не используют диафрагму коллектора. Размер освещенного поля регулируют передвижением конденсора. Это приводит к тому, что обе диафрагмы перестают действовать по своему назначению. При передвижении конденсора одновременно изменяется и диаметр освещенного поля и апертура микроскопа. С увеличением диаметра освещенного поля происходит вынужденное уменьшение апертуры. Такие приемы работы не применимы в микрофотографии.

Фокусировка конденсора необходима для того, чтобы иметь возможность раздельно управлять величиной освещенного поля и апертурой микроскопа. Регулировка освещенного поля должна производиться независимо от регулировки апертуры.

При использовании сильного короткофокусного конденсора изображение диафрагмы коллектора почти совпадает

с верхней фокальной плоскостью конденсора. Сфокусированный конденсор должен занять самое крайнее верхнее положение. Может случиться, что ограничитель движения будет препятствовать подъему конденсора вверх.

В таком случае необходимо применить средства, удлиняющие фокусное расстояние конденсора, или приблизить источник света к микроскопу.

ОСВЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТА ПРОХОДЯЩИМ СВЕТОМ

Освещение прозрачного объекта проходящим светом при микросъемке основано на следующем принципе.

Если сфокусировать собирательную линзу на каком-либо предмете, то мы получим два сопряженных фокуса. В первом будет расположен предмет, во втором — его изображение.

При фокусировке осветительной линзы, например коллектора, предметом служит источник света — тело накала лампы. Изображение источника света отбрасывается коллектором во второй сопряженный фокус — в плоскость ирисовой диафрагмы конденсора.

Если поместить зрачок глаза во втором сопряженном фокусе, то мы увидим ослепительно яркую поверхность коллекторной линзы.

Освещенная поверхность коллекторной линзы является как бы вторичным источником света, обладающим равномерной яркостью по всему полю. В плотную к коллектору устанавливается ирисовая диафрагма, ограничивающая диаметр светящегося диска. Отверстие диафрагмы определяет размеры вторичного источника света.

Конденсор микроскопа фокусируется именно на этот источник света и отбрасывает изображение ирисовой диафрагмы в виде светлого кружка в плоскость объекта съемки.

Схема хода лучей от источника света до плоскости объекта показана на рис. 74.

Тело накала лампы находится в переднем сопряженном фокусе S коллекторной линзы K_L . Изображение тела накала отбрасывается во второй сопряженный фокус S' коллектора. Это изображение совпадает с плоскостью ирисовой диафрагмы d конденсора K_H .

Вторичный источник света K_L , размер которого ограничен диафрагмой D , находится в переднем сопряженном фокусе a конденсора. Изображение a' вторичного источ-

ника света отбрасывается конденсором в плоскость объекта P .

Если тело накала лампы состоит из широко расположенной спирали и изображение не покрывает переднюю линзу конденсора, тогда перед коллекторной линзой устанавливается пластинка матового стекла, создающая рассеянный свет.

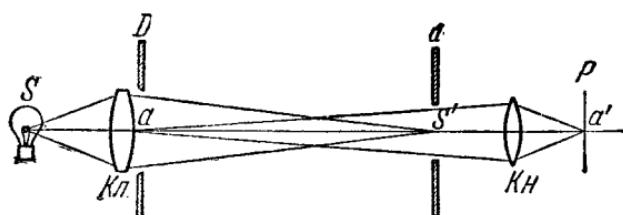


Рис. 74. Схема освещения объекта проходящим светом

Матовое стекло является вторичным источником света. Оно сглаживает структуру тела накала и дает равномерное покрытие входного отверстия конденсора.

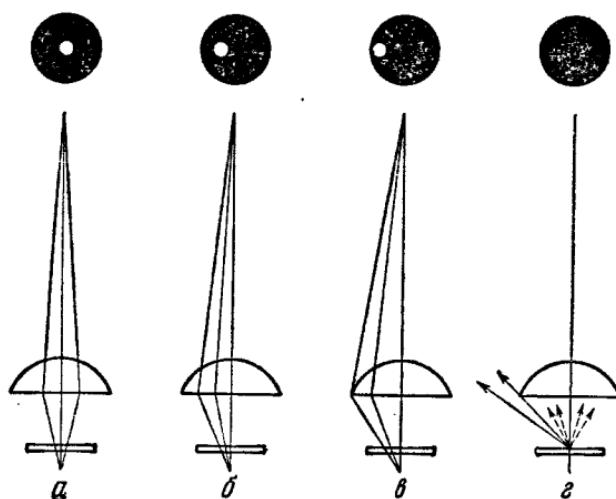


Рис. 75. Схема хода лучей при центральном и косом освещении:

a — центральное освещение, b — слабое косое освещение,
 c — сильное косое освещение, d — освещение на темном поле.
В верхней части рисунка показано расположение круга диафрагмы, видимое в задней фокальной плоскости объективов.

Фокусировка коллектора производится без матового стекла, а конденсор по-прежнему фокусируется на ирисовую диафрагму коллектора, расположенную впереди матового стекла.

В некоторых случаях матовое стекло устанавливается между источником света и коллекторной линзой.

Установка света по указанной схеме не представляет особых затруднений. Необходимо предварительно хорошо освоить фокусировку основных оптических приборов — коллектора, конденсора и микроскопа.

Освещение объекта проходящим светом, когда осевой пучок направлен снизу вверх параллельно оптической оси микроскопа, называется центральным освещением. Конус света распределяется симметрично вокруг оси конденсора (рис. 75, а).

Если центральное освещение установлено правильно, конденсор микроскопа хорошо отцентрирован, то изображение какой-либо точки препарата в центре поля зрения не должно отклоняться в сторону при небольшом подъеме или опускании тубуса микроскопа.

ОДНОСТОРОННЕЕ, ИЛИ КОСОЕ, ОСВЕЩЕНИЕ

При центральном освещении создается просвечивание объекта прямым проходящим светом. Изображение объекта рисуется на светлом поле в виде темных очертаний. Такое освещение является наиболее употребительным при съемке прозрачных объектов. Однако в некоторых случаях возникает необходимость в изменении характера освещения.

Можно направить осевой пучок наклонно к оптической оси микроскопа или исключить центральную часть светового конуса, освещая объект только краевыми лучами, падающими под острым углом с какой-либо одной стороны.

Такое освещение называется односторонним, или косым. Оно достигается наклоном зеркала микроскопа или эксцентрическим смещением ирисовой диафрагмы конденсора.

При косом освещении поле изображения становится притемненным, а детали объекта освещены односторонним светом.

При съемке объективами очень слабого увеличения, например микроанастигматами, можно освещать объект одним зеркалом микроскопа, удалив конденсор. Пучок све-

та, отраженный от плоской поверхности зеркала, направляется наклонно к оптической оси микроскопа. Наблюдая изображение в окуляр или на матовом стекле фотокамеры, медленно наклоняют зеркало до получения одностороннего освещения.

Направление освещения можно менять, наклоняя зеркало в ту или иную сторону. Некоторые препараты требуют освещения в строго определенном направлении. В таком случае удобнее ориентировать препарат по свету вращением предметного столика.

При сильном наклоне зеркала возникает эффект черного поля (рис. 80).

Освещение косым светом с помощью ирисовой диафрагмы конденсора показано на рис. 75, б и в. Центральная часть светового пучка исключена эксцентрическим смещением диафрагмы. В освещении объекта участвуют только краевые лучи, которые по выходе из конденсора падают под острым углом к поверхности препарата. Направление освещения можно менять круговым вращением диафрагмы.

При сильном сдвиге диафрагмы поле изображения становится черным (рис. 75, г).

Косое освещение применяется для повышения контраста изображения, для передачи объема и формы снимаемых предметов, а также для выявления мелкой структуры объекта.

Разрешающая способность микроскопа при косом освещении возрастает примерно в два раза за счет увеличения угла отверстия объектива и более полного участия в образовании изображения световых лучей, отклоненных от своего первоначального направления вследствие явления дифракции света.

Необходимо отметить, что косое освещение можно применять не для всех препаратов. Объекты с плоской структурой, с тесно расположенными деталями, как, например, клетки растений, поперечные срезы древесины, растительных семян и т. п., будут проигрывать при косом освещении. Чередование света и тени вносит пестроту в изображение и затрудняет восприятие структуры объекта.

Наоборот, объекты с тонкой и сложной структурой, как, например, чешуйки крыльев бабочки или панцирь диатомей, значительно выигрывают при косом освещении. Здесь косое освещение позволяет выявить новые подробности в строении объекта, которые значительно труднее обнаружить при центральном освещении.

При съемке раздельно расположенных частиц, как, например, пигментов, тонко тертых порошков, абразивов и т. п., косое освещение создает повышенный контраст, благодаря чему мельчайшие частицы становятся видимыми на притемненном поле.

Перед тем как приступить к съемке готового объекта, рекомендуется испробовать все переходные варианты, начиная от центрального и косого освещения и кончая освещением на темном поле.

Необходимо иметь в виду, что с повышением эффекта косого освещения возрастают потери света (см. рис. 75), что неизбежно вызывает относительное увеличение времени выдержки или повышение интенсивности освещения.

ОСВЕЩЕНИЕ НА ТЕМНОМ ПОЛЕ

Темнопольное освещение, по существу, является разновидностью косого освещения.

Темное поле создает высокий контраст изображения, благодаря чему мельчайшие детали объекта становятся хорошо различимыми.

Повышение видимости при освещении на темном поле можно объяснить следующим хорошо известным явлением.

Представьте себе, что в темную комнату сквозь щель в ставне окна проникает пучок прямых солнечных лучей. Мельчайшие пылинки, находящиеся в воздухе, будут отчетливо видны на темном фоне в полосе светового пучка. При обычном дневном освещении мы этих пылинок не различаем.

Следовательно, мелкие частицы становятся видимы при наличии светового контраста.

Пылинки в воздухе, освещенные солнечными лучами, сами начинают светиться и распространять вокруг себя отраженные и рассеянные ими световые лучи.

По тому же принципу построено освещение на темном поле в микроскопе. Прямые лучи света, выходящие из конденсора, падают под острым углом на препарат и не попадают в объектив (см. рис. 75, г).

Поле изображения становится черным, а объект съемки начинает распространять вокруг себя отраженные световые лучи. Эти лучи проходят в объектив и образуют изображение объекта.

Понятно, что отраженный и рассеянный частицами препарата свет во много раз слабее прямого проходящего

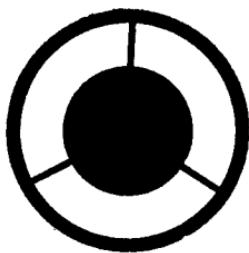


Рис. 85. Темнопольная диафрагма

Как уже говорилось в предыдущем параграфе, темное поле можно получить наклоном зеркала или эксцентрическим смещением ирисовой диафрагмы конденсора. Однако при таком освещении происходят большие потери света.

Лучшие результаты дает так называемая темнопольная диафрагма (рис. 85), которую нетрудно изготовить самому из тонкого листового алюминия, жести или просто вырезать из куска картона. Готовая диафрагма закрашивается с обеих сторон черной матовой краской и вкладывается в круглый паз ирисовой диафрагмы конденсора. Последняя должна быть полностью открыта.

Внешний диаметр темнопольной диафрагмы равен диаметру кольцевого паза (около 32 мм). Диаметр внутреннего диска составляет 14—15 мм. Ширина наружного кольца и поперечных планок равна 1—1,2 мм.

Центральный диск диафрагмы задерживает осевой пучок света и пропускает только краевые лучи, которые по выходе из конденсора освещают препарат со всех сторон косым светом (рис. 86).

света. При съемке на темном поле применяются лампы накаливания повышенной мощности (300—500 вт) или дуговые лампы, работающие от постоянного тока.

Освещение на темном поле можно получить различными способами. Здесь мы укажем лишь на простейшие приемы, не требующие применения специального оборудования и доступные каждому начинающему занимающемуся микрофотографией.

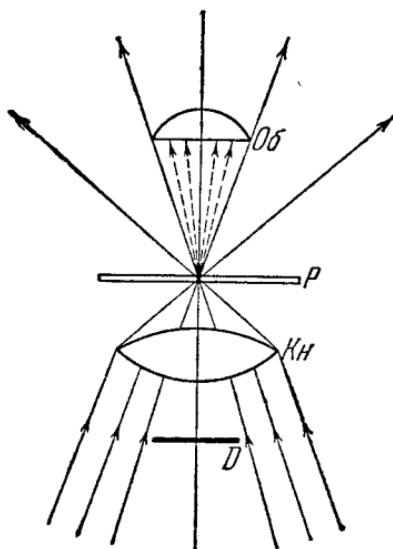


Рис. 86. Схема хода лучей при использовании темнопольной диафрагмы:

Об — объектив, Kn — конденсор. Р — препарат, D — темнопольная диафрагма. Лучи, вышедшие из конденсора, не попадают в объектив. Пунктиром показаны световые лучи, рассеянные частицами препарата

Темнопольную диафрагму можно применять с объективами слабого увеличения или с наиболее длиннофокусными объективами среднего увеличения. Фокусировка и центрировка конденсора производятся так же, как и при центральном освещении.

Для работы с сильными объективами применяются специальные темнопольные конденсоры (кардиоид-конденсор, параболоид-конденсор, зеркальный конденсор и др.).

При съемке на темном поле особые требования предъявляются к качеству предметных и покровных стекол. Плоскость препарата должна проходить через точку пересечения лучей, вышедших из конденсора. В связи с этим при употреблении сильных конденсоров толщина предметного стекла не должна превышать 1 мм. Толщина покровного стекла должна быть не более 0,2 мм.

При темнопольном освещении применяются хорошо полированные предметные и покровные стекла, тщательно промытые и очищенные от пыли и грязи. Пыль, царапины, следы расстеклования будут хорошо видны на темном поле в виде светящихся точек и полос, затрудняющих восприятие структуры объекта (рис. 81).

Темнопольное освещение применяется при съемке колоний бактерий, коллоидальных химических растворов, кристаллов и т. п.

Достаточно крупные прозрачные объекты получаются в виде светящегося контура с темной сердцевиной, непрозрачные — светятся всей своей поверхностью.

Очень мелкие частицы, приближающиеся по своей величине к ультрамикроскопическим, видны как светящиеся кружки с размытым контуром (коллоиды, броуновское движение).

ОСВЕЩЕНИЕ НЕПРОЗРАЧНЫХ ОБЪЕКТОВ

С помощью биологического микроскопа можно снять не только прозрачные или полупрозрачные объекты в прямом или косом освещении, но также и непрозрачные объекты, к числу которых относятся поверхность металла, дерева, кожи, бумаги, различных тканей, текстильных изделий и т. п. (см. приложения).

Нашей оптико-механической промышленностью выпускается специальное оборудование для исследования непрозрачных объектов — минералогические и металлографи-

ческие микроскопы, а также особые насадки, так называемые опак-иллюминаторы для обычных биологических микроскопов.

Все эти приборы и принадлежности применяются для специальных исследовательских целей и позволяют производить съемку с объективами любого увеличения. Описание их устройства и применения дано в соответствующей литературе.

Между тем существует большое количество разнообразных объектов, которые можно снять в отраженном свете, не прибегая к специальному оборудованию.

К таким объектам относятся многочисленные сельскохозяйственные культуры, как, например, зерна различных семян, поверхность растений, поперечные срезы плодов, овощей и т. п.

Большой интерес представляет съемка ботанических объектов — цветов, декоративных растений, трав, мхов, грибов, лекарственных и ядовитых растений.

Не менее интересна съемка насекомых — пчел, шмелей, жуков, бабочек, гусениц. Большой практический интерес представляет съемка готовых изделий из металла, дерева, кости, пластических масс.

Для съемки поверхностного строения большинства упомянутых объектов применяются объективы слабого и среднего увеличения.

Предметное расстояние таких объективов достаточно велико и позволяет пропустить в промежутке между передней линзой объектива и предметом достаточно широкий конус световых лучей, направленный сверху вниз под определенным углом к поверхности объекта.

Съемка ведется в отраженных объектом лучах света.

Для освещения верхним направленным светом лучше всего использовать обычный осветительный прибор с коллекторной линзой и диафрагмой, укрепленными на высокой стойке. Источник света применяется повышенной мощности.

На рис. 87, *a* показана схема фокусировки коллекторной линзы. Изображение S' источника света S отбрасывается в плоскость объекта P . Однако при таком освещении в плоскости объекта будет передана структура тела накала лампы, которая может затруднить проработку поверхностного строения объекта. Для устранения этого нежелательного явления применяются дуговые или точечные лампы. Можно устраниить структуру тела накала лампы, установ-

вив позади коллекторной линзы рассеиватель — матовое стекло C .

Диафрагма D коллектора будет действовать как диафрагма апертуры.

Неудобством этого способа освещения является отсутствие диафрагмы поля, с помощью которой можно было бы изменять диаметр освещенного поля.

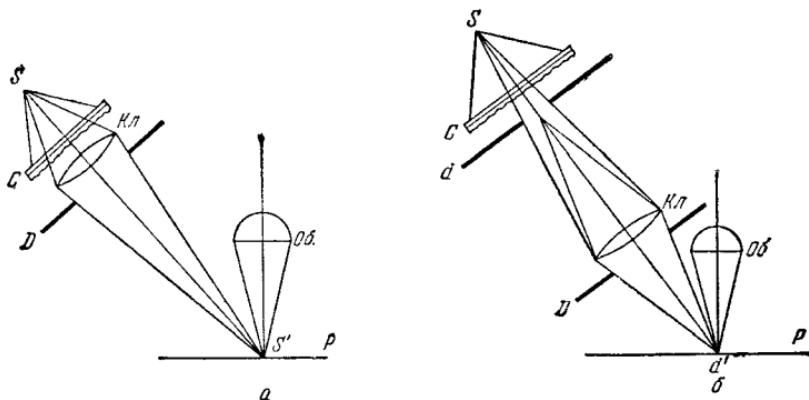


Рис. 87. Две схемы освещения непрозрачного объекта верхним направленным светом:

a — освещение с помощью обычного осветительного прибора с коллекторной линзой. Диафрагма D действует как диафрагма апертуры, b — освещение с помощью коллекторной линзы, установленной впереди диафрагмы поля (d). Ob — объектив микроскопа, P — плоскость объекта, $KЛ$ — коллекторная линза, S — источник света, S' — изображение источника света, C — матовое стекло, d — диафрагма поля, d' — изображение диафрагмы поля, D — диафрагма апертуры

На рис. 87, б показан другой вариант освещения с помощью того же осветительного прибора. Здесь коллекторная линза располагается впереди диафрагмы d и отбрасывает ее изображение d' в плоскость препарата P . Диафрагма d действует как диафрагма поля.

Изменять размер освещенного поля можно как с помощью диафрагмы d , так и путем передвижения коллекторной линзы. Чем ближе придинута коллекторная линза к плоскости объекта, тем меньше диаметр освещенного поля. Размер освещенного поля будет равен диаметру диафрагмы d , если последняя отстоит от коллектора на его двойном фокусном расстоянии. С приближением коллекторной линзы к диафрагме d диаметр освещенного поля будет увеличиваться.

В связи с этим в качестве диафрагмы поля можно применить не ирисовую диафрагму, а металлическую пластиночку с круглым отверстием диаметром около 25 мм. Коллектор-

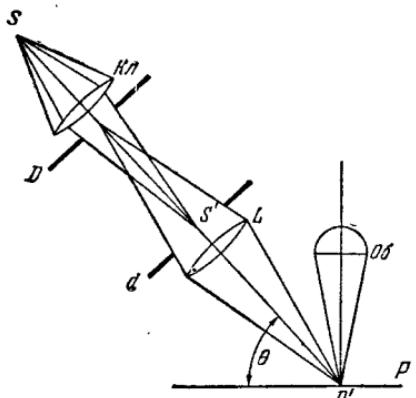


Рис. 88. Схема освещения с помощью обычного осветительного прибора и дополнительной линзы

диафрагмы D в плоскость препарата P . Диафрагма D коллекторной линзы служит диафрагмой поля, а диафрагма d дополнительной линзы действует как диафрагма апертуры.

В качестве дополнительной линзы можно использовать обыкновенную лупу, сфокусировав ее, как показано на рис. 88.

Угол θ обозначает наклон светового конуса относительно плоскости объекта съемки. Чем меньше этот угол, тем контрастнее освещен объект. При незначительном угле наклона поле объекта будет освещено неравномерно, с образованием сильных теней от отдельных деталей объекта.

Для смягчения теней и более равномерного освещения поля применяется второй осветительной прибор, расположенный по другую сторону микроскопа; он должен быть слабее первого, в противном случае тени будут образовываться по обе стороны деталей объекта. Второй осветительный прибор применяется в качестве подсветки.

Освещение верхним светом по указанным схемам не представляет особых затруднений и может быть быстро освоено. Оно дает отличные результаты при использовании объективов с фокусным расстоянием не короче 16 мм.

Интересные результаты дает так называемое комбинированное освещение, представляющее собой сочетание верхнего направленного света и центрального освещения. Ком-

пактная линза используется вместе с ее ирисовой диафрагмой D . Последняя действует как диафрагма апертуры.

На рис. 88 показана схема освещения с помощью обычного осветительного прибора и дополнительной линзы L с диафрагмой d .

Изображение S' источника света S фокусируется коллекторной линзой $Kл$ в плоскость диафрагмы d . Линза L действует как конденсор микроскопа и отбрасывает изображение D'

бинированное освещение применяется для съемки полупрозрачных объектов, а также для подсвечивания фона при съемке непрозрачных объектов.

Особенно эффектной получается цветная подсветка фона при съемке на многослойной пленке.

ОСВЕЩЕНИЕ ПО МЕТОДУ ФАЗОВЫХ КОНТРАСТОВ

Прозрачные объекты, исследуемые в проходящем свете с помощью биологического микроскопа, отличаются в большинстве случаев весьма низким интервалом яркостей и выглядят как малоконтрастные объекты.

Повысить контраст изображения можно различными способами, но не всегда удается достигнуть желаемого результата.

Контраст изображения повышается с уменьшением диаметра отверстия апертурной диафрагмы. Но диафрагмирование конденсора снижает общую освещенность изображения и уменьшает разрешающую силу микроскопа.

Бесцветные неконтрастные объекты можно подвергнуть дифференцированной окраске и превратить их в многоцветные объекты, обладающие избирательным поглощением. Но не всякий объект способен принять окраску, а многие живые препараты часто погибают или изменяют свое строение.

Поглощательная способность объекта, а следовательно, и контраст изображения повышаются при использовании коротковолнового излучения. В ультрафиолетовых лучах поглощение больше, чем в видимой области спектра. Однако степень увеличения контраста здесь может оказаться недостаточной.

Контраст изображения повышается при использовании косого или темнопольного освещения, при этом возникает подобие негативного изображения. Темные участки объекта становятся светлыми, а светлое поле — темным. При таком освещении хорошо различаются контуры объекта, но теряется его внутренняя структура.

За последнее десятилетие большое распространение получил метод фазового контраста, позволяющий наблюдать и фотографировать бесцветные неконтрастные объекты.

Характерной особенностью подобных объектов является отсутствие поглощения в видимой области спектра. Создается впечатление, что свет свободно проходит сквозь толщу

препарата. Однако отсутствие заметных на глаз световых изменений еще не означает, что их нет вообще.

Контрастные объекты создают видимые световые изменения. Благодаря различному поглощению света отдельными участками объекта меняется амплитуда колебаний световых волн. Вследствие этого изменяется энергия прошедшего света и возникает разность яркостей, или амплитудный контраст, на изображении.

Неконтрастные объекты не изменяют энергии прошедшего через них света. Они меняют лишь фазу колебания. Эти изменения не воспринимаются глазом. Поэтому неконтрастные объекты плохо различимы.

Задача фазового микроскопа состоит в том, чтобы превратить фазовый контраст в контраст амплитудный.

С помощью особых оптических устройств незаметные для глаза изменения фаз колебания света, происходящие в объекте, превращаются в видимые изменения освещенности на изображении.

Теория метода фазового контраста основана на явлениях дифракции и интерференции света. Не вдаваясь в подробное изложение этой теории, рассмотрим вкратце, как возникает дифракционное изображение в микроскопе.

На рис. 89 показана схема образования такого изображения при наблюдении препарата, имеющего структуру дифракционной решетки.

Пучок световых лучей, исходящий из центра апертурной диафрагмы D , проходит через конденсор Kn и выходит из него параллельным пучком, направленным на препарат

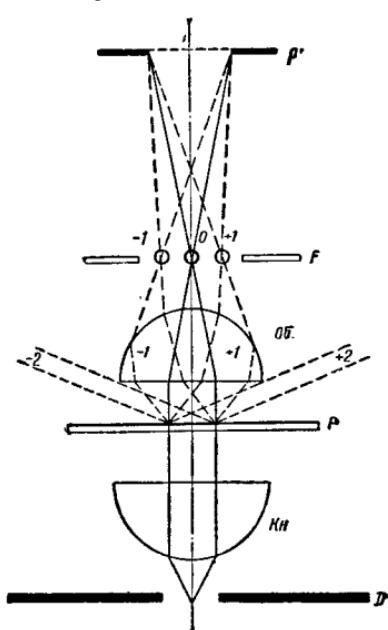


Рис. 89. Схема образования дифракционного изображения в микроскопе:

D — диафрагма конденсора, Kn — конденсор, P — препарат (дифракционная решетка), ± 1 и ± 2 — дифрагированные световые пучки, Ob — объектив, F — задняя фокальная плоскость объектива, 0 , -1 и $+1$ — центральный и боковые дифракционные максимумы, P' — промежуточное изображение

(дифракционную решетку) P . При прохождении света через решетку возникает явление дифракции (отклонения) световых лучей от своего первоначального направления. Отклоненные световые пучки показаны на схеме цифрами ± 1 и ± 2 .

Чем больше угол отверстия объектива, тем больше отклоненных световых пучков попадет в объектив и тем точнее будет изображение дифракционной решетки P' , даваемое объективом Ob .

После преломления в объективе параллельные пучки лучей сойдутся в верхней фокальной плоскости F объектива и дадут дифракционные изображения диафрагмы конденсора.

Центральный пучок света даст изображение диафрагмы в O . Это будет так называемый центральный, или нулевой, дифракционный максимум, он является самым ярким по сравнению с прочими дифракционными кружками. Отклоненные световые пучки образуют менее яркие боковые максимумы ± 1 , а пучки света, обозначенные через ± 2 , не попадут в объектив.

Полученное дифракционное изображение диафрагмы конденсора является первичным изображением в микроскопе. Изображение самого препарата P' расположено значительно выше в плоскости окулярной диафрагмы. Это будет промежуточное, или вторичное, изображение, с которым мы уже познакомились.

Если объект неконтрастный, то яркость центрального максимума значительно превышает яркость боковых максимумов. С повышением контраста объекта яркость боковых максимумов возрастает.

Дифракционное изображение можно наблюдать, если удалить окуляр и смотреть в тубус микроскопа на поверхность задней линзы объектива (рис. 82).

Для того чтобы уравнять яркости дифракционного изображения при неконтрастном объекте с яркостями контрастного, надо ослабить нулевой максимум и изменить его фазу, не меняя значений боковых максимумов.

Для этого к микроскопу придается специальная фазово-контрастная оптика — фазовый конденсор и фазовые объективы.

Для выделения нулевого максимума в конденсоре установлена особая кольцевая диафрагма $D\phi$ (рис. 90).

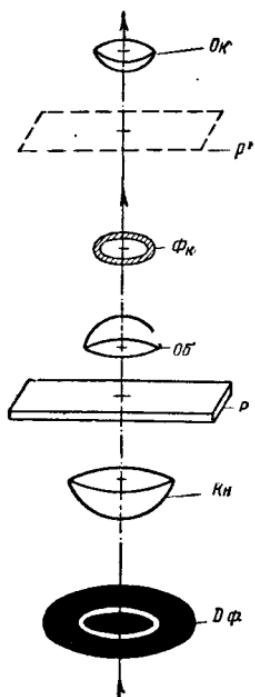


Рис. 90. Схема фазово-контрастного микроскопа:

$\Delta\phi$ — кольцевая диафрагма, K_n — конденсор, P — препарат, Ob — объектив, Φ_k — фазовое кольцо, P' — промежуточное изображение, O_k — окуляр

Конденсор может быть использован для наблюдения обычным способом без фазового контраста. Для этого под вращающимся диском установлена ирисовая диафрагма, а в самом диске имеется сквозное отверстие без кольцевой диафрагмы. При наблюдении без фазового контраста применяются обычные объективы микроскопа.

Два винта, расположенных по бокам револьверного диска, служат для совмещения кольцевой диафрагмы с фазовым кольцом объектива.

Набор фазовых объективов состоит из четырех ахромати-

В объективе микроскопа, в плоскости первичного изображения, расположено фазовое кольцо Φ_k , точно перекрывающее изображение кольцевой диафрагмы конденсора. Фазовое кольцо Φ_k изменяет фазу нулевого максимума и снижает его яркость.

Весь дифрагированный свет, кроме нулевого максимума, проходит мимо фазового кольца Φ_k . В результате возникает более контрастное промежуточное изображение P' .

Фазовоконтрастное устройство КФ-1 (рис. 91), состоит из конденсора с вращающимся диском, в который вставлены кольцевые диафрагмы, набора объективов ахроматов с фазовыми кольцами и специального вспомогательного микроскопа МИР-4, устанавливаемого в тубус на место окуляра.

Фазовый конденсор по своему оптическому устройству ничем не отличается от обычного конденсора, за исключением того, что в его нижней фокальной плоскости располагаются кольцевые диафрагмы. Для каждого фазового объектива нужна своя кольцевая диафрагма, соответствующая апертуре объектива. Поэтому вращающийся револьверный диск конденсора имеет набор кольцевых диафрагм, обозначенных цифрами, показывающими собственное увеличение объектива.

Два винта, расположенных по бокам револьверного диска, служат для совмещения кольцевой диафрагмы с фазовым кольцом объектива.

Набор фазовых объективов состоит из четырех ахромати-

тов с увеличениями 10, 20, 40 и 90^х. Последний — иммерсионный.

На оправах объективов выгравирована буква Ф. Каждый объектив снабжен своим фазовым кольцом, установленным в выходном зрачке объектива. Пользоваться этими объективами при обычном освещении не следует, так как они ухудшают качество изображения.

Вспомогательный микроскоп МИР-4 служит для наблюдения за совмещением колец конденсора и объектива. Он состоит из объектива и окуляра, вмонтированных в раздвижной тубус. С помощью микроскопа МИР-4 ведется наблюдение за плоскостью первичного изображения, где располагается фазовое кольцо и куда отбрасывается изображение кольцевой диафрагмы.

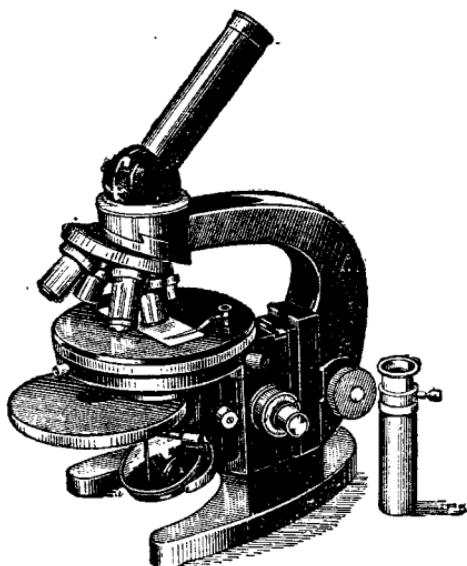


Рис. 92. Микроскоп МБИ-1 с фазовоконтрастным устройством КФ-1

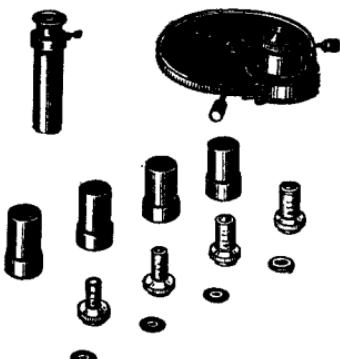


Рис. 91. Набор принадлежностей КФ-1 для исследования по методу фазового контраста

После совмещения колец вспомогательный микроскоп заменяется обычным окуляром.

Освещение и фокусировка коллектора и конденсора производятся по нормальной схеме.

Фазовоконтрастное устройство КФ-1 дает негативный контраст, т. е. более плотные участки объекта выглядят светлыми на темном поле (рис. 83). Существуют фазовоконтрастные микроскопы, дающие позитивный контраст, при котором плотные участки объекта выглядят темнее окружающего фона.

Фазовоконтрастное

устройство КФ-1 может быть использовано с микроскопами МБИ-1, МБИ-3 и др.

На рис. 92 изображен микроскоп МБИ-1 с фазовоконтрастным устройством КФ-1.

Эффект фазового контраста зависит от строения объекта, его толщины и плотности (рис. 83). Не всякие объекты пригодны для исследования по методу фазовых контрастов. Плохие результаты дают объекты, у которых отдельные включения сильно различаются по показателю преломления или по плотности.

Рассмотренное выше фазовоконтрастное устройство имеет постоянное значение изменения величины фазы. Между тем различные объекты по-разному меняют фазу колебания. Эти изменения должны быть учтены в микроскопе. Поэтому за последнее время разработаны фазовоконтрастные устройства с переменным значением фазовых изменений. В них фаза меняется от нуля до целой длины волны.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СЪЕМКИ

ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПО ПОДГОТОВКЕ МИКРОСКОПА И ФОТОКАМЕРЫ К СЪЕМКЕ

1. Отцентрировать источник света по отношению к коллекторной линзе.

2. Расположить осветительный прибор на расстоянии 30—40 см от микроскопа и направить пучок света на центр зеркала микроскопа.

3. Закрыть ирисовую диафрагму конденсора и наклонить зеркало микроскопа так, чтобы изображение диафрагмы было видно со стороны осветительного прибора.

4. С помощью коллекторной линзы сфокусировать изображение источника света на диафрагме конденсора.

Для получения резкого изображения можно слегка прикрыть диафрагму коллекторной линзы. Увеличенное изображение источника света должно заполнять входное отверстие конденсора.

5. Установить на предметный столик препарат; открыть ирисовую диафрагму конденсора и наклоном зеркала направить световой конус вверх, осветив поле объекта.

Для предохранения глаза от слишком яркого света поставить защитные нейтрально серые фильтры.

6. Сфокусировать микроскоп на объекте. Поскольку данная фокусировка является предварительной, ее следует производить с менее сильным объективом с фокусным расстоянием 16 мм.

7. Уменьшить отверстие диафрагмы коллекторной линзы до 2—3 м.и в диаметре. Сфокусировать конденсор до получения резкого изображения диафрагмы в поле зрения микроскопа. Наклоном зеркала расположить изображение диафрагмы в центре поля зрения.

8. Раскрыть отверстие диафрагмы коллекторной линзы вровень с краями поля зрения.

9. Заменить обычный окуляр центрировочным. Отцентрировать конденсор и его диафрагму, наблюдая изображение диафрагмы в задней фокальной плоскости объектива¹. Раскрыть диафрагму конденсора до величины, равной $\frac{9}{10}$ выходного отверстия объектива.

10. Поставить обычный окуляр и, передвигая препаратор в поле зрения микроскопа, выбрать необходимый для съемки участок объекта.

11. Установить рабочий объектив, поправить фокусировку микроскопа и конденсора. Отрегулировать диафрагму конденсора в соответствии с выходным отверстием объектива.

12. Поставить окуляр для съемки и соединить микроскоп с фотокамерой. Убрать защитные фильтры. Если используется камера с призматическим визиром, то дальнейший контроль изображения производится через телескопический окуляр.

13. Раздвинуть мех камеры до необходимой величины и сфокусировать изображение на матовом стекле. Произвести поправки на расположение объекта в кадре.

14. Отрегулировать диафрагму коллекторной линзы вровень с краями поля изображения на матовом стекле фотокамеры.

15. Поставить светофильтры для съемки.

16. Заменить матовое стекло прозрачным и произвести окончательную фокусировку изображения с помощью устновочной лупы.

17. Произвести пробную съемку на определение экспозиции.

¹ Объектив, предметный столик и зеркало микроскопа должны быть отцентрированы заблаговременно.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОФИЛЬТРОВ

Действие светофильтров при микросъемке сводится к изменению силы света и спектрального состава излучения, используемого для освещения объекта.

Если светофильтр одинаково задерживает лучи по всей видимой части спектра, то такой светофильтр будет иметь нейтрально серую окраску. Подобные светофильтры применяются для снижения интенсивности излучения.

Если светофильтр задерживает лучи одного цвета, а пропускает лучи другого цвета, то такой светофильтр обладает избирательным поглощением и применяется для изменения спектрального состава излучения.

Светофильтр избирательного поглощения окрашен в цвет пропущенных им лучей.

Белый пучок света после прохождения через цветной светофильтр приобретает окраску последнего.

Следовательно, цветные светофильтры пропускают лучи своего цвета, а задерживают лучи дополнительного. Так, например, зеленый светофильтр пропускает лучи зелено-желтой части спектра и поглощает лучи сине-фиолетовой и оранжево-красной частей спектра. Желтый светофильтр поглощает сине-фиолетовые лучи и пропускает красные, оранжевые, желтые и зеленые лучи. Синий фильтр, наоборот, пропускает фиолетово-синие лучи и поглощает оранжево-красные.

Светофильтры бывают трех типов:

- 1) светофильтры из окрашенного в массе стекла;
- 2) светофильтры из окрашенных желатиновых листков, заключенных между двумя прозрачными стеклянными пластинками;
- 3) жидкие светофильтры, представляющие собой прозрачные сосуды с раствором красителя в воде.

Плотность окраски светофильтра зависит от рода и количества красителя, введенного в состав светофильтра. С изменением плотности светофильтра меняется его поглощающая способность.

Поглощение света цветным светофильтром влияет не только на спектральный состав излучения, но также и на освещенность изображения. При использовании светофильтров величина экспозиции всегда возрастает. Степень изменения экспозиции характеризует кратность светофильтра.

Кратность, как известно, не является величиной постоян-

ной, а зависит от окраски светофильтра, спектрального состава излучения источника света, окраски объекта и спектральной чувствительности негативного материала.

Коррекционные светофильтры применяются для исправления недостатков объектива и конденсора.

Выше было сказано, что объективы микроскопа делятся по своим оптическим качествам на две основные системы — ахроматы и апохроматы. Первые являются менее исправленными объективами, для них главным образом и предназначаются коррекционные светофильтры.

Обычно объективы ахроматы исправляются в отношении желто-зеленой части спектра.

Коррекционный светофильтр должен пропускать лучи того цвета, к которым объектив исправлен, и задерживать все прочие лучи, к которым объектив не исправлен.

Для ахроматов наиболее подходящим является плотный зеленый светофильтр, пропускающий лучи с длиной волны от 500 до 580 м^м. Кривая пропускания такого фильтра приведена на рис. 93, а.

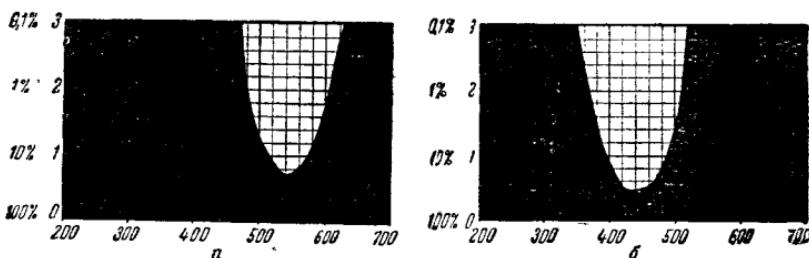


Рис. 93. Кривые пропускания светофильтров. По горизонтальной оси отложены длины волн, по вертикальной — прозрачность и плотность светофильтров. Светлый участок на графике показывает зону пропускания, темная часть графика обозначает зоны поглощения:

а — кривая зеленого светофильтра, б — кривая синего светофильтра

Объектив ахромат в сочетании с зеленым светофильтром дает более резкое изображение.

Коррекционные светофильтры устанавливаются на пути светового пучка перед зеркалом микроскопа. Действие коррекционных светофильтров распространяется не только на объектив, но и на конденсор микроскопа.

Зеленый светофильтр значительно улучшает качество изображения, когда конденсор и объектив микроскопа представляют собой ахроматические системы.

Объективы апохроматы не требуют применения коррекционных светофильтров. Включение в световой поток любого цветного фильтра не должно сказываться на качестве работы объектива.

Светофильтры для повышения разрешающей силы. Зеленый коррекционный светофильтр, улучшающий качество работы объектива ахромата, вместе с тем способствует и повышению разрешающей силы микроскопа.

Передача мелкой структуры объекта во многом зависит от коррекции объектива.

Помимо коррекционных светофильтров существуют специальные монохроматические светофильтры, предназначенные для повышения разрешающей силы объектива.

Согласно уравнению (27) разрешающая сила находится в прямой зависимости от длины волны света. Чем короче длина волны света λ , тем меньшую частицу d разрешает микроскоп.

Синий светофильтр заметно улучшает передачу мелких деталей объекта сравнительно с длинноволновым излучением.

Кривая такого фильтра приведена на рис. 93, б. Максимум пропускания лежит на длине волны 430 мкм. Границы пропускания распространяются от 400 до 480 мкм.

Коротковолновый синий светофильтр рекомендуется применять с хорошо исправленными объективами апохроматами.

Светофильтры для изменения контраста изображения. При съемке объекта в проходящем свете контраст изображения в большинстве случаев невелик. Порой бывает трудно различить прозрачный объект на светлом поле. В связи с этим проблема повышения контраста оптического изображения при микросъемке приобретает весьма важное значение.

Контраст изображения можно повысить различными способами. В первую очередь необходимо избавиться от влияния рассеянного света. Это достигается уменьшением отверстия ирисовой диафрагмы коллекторной линзы, применением коррекционных светофильтров и в исключительных случаях уменьшением отверстия апертурной диафрагмы.

При съемке окрашенного объекта на черно-белом негативном материале изменение контраста изображения достигается с помощью светофильтров избирательного поглощения.

Синий объект на белом поле выглядит менее контрастно на негативе, чем при визуальном наблюдении. Для повышения контраста используется желтый или оранжево-красный светофильтр.

Красный объект на белом поле может быть выделен как подбором негативного материала, так и применением синего или зеленого светофильтра.

Если цвет светофильтра соответствует окраске объекта, то изображение объекта будет высвечиваться на позитиве; если же цвет светофильтра является дополнительным к окраске объекта, то изображение объекта будет приглушенено.

Для выделения окрашенного объекта на белом поле надо применять светофильтры, цвет которых является дополнительным к цвету объекта.

При съемке многоцветного объекта на черно-белом негативном материале подбор светофильтров производится в зависимости от поставленной задачи. Для достижения правильной цветопередачи применяются желтые компенсационные светофильтры, снижающие чувствительность негативного материала к сине-фиолетовой части спектра. Для выделения определенного цветного участка объекта применяются светофильтры избирательного поглощения той или иной окраски.

При цветной съемке изменение цветового контраста осуществляется также подбором светофильтров избирательного поглощения, если только при этом не преследуется задача правильной передачи цвета.

Для съемки как черно-белых, так и цветных объектов необходимо иметь комплект светофильтров, состоящий из нейтрально серых и цветных фильтров различной плотности.

Ниже приводится перечень наиболее употребительных светофильтров для микрофотографии:

- 1) нейтрально серые фильтры 2-, 4- и 8-кратные. Из них можно составить 6-, 10-, 12- и 14-кратные защитные фильтры;
- 2) коррекционный зеленый светофильтр;
- 3) коротковолновый сине-фиолетовый фильтр;
- 4) голубые фильтры дневного света 20 и 40%;
- 5) желтые компенсационные светофильтры № 1, 2 и 3;
- 6) несколько фильтров избирательного поглощения различной окраски.

ВЫБОР НЕГАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Выбор негативного материала зависит от трех основных факторов: освещенности, контраста и цвета изображения.

В большинстве случаев при использовании источников света средней мощности освещенность изображения при микросъемке оказывается сравнительно небольшой. Это объясняется относительно низкой светосилой оптической системы микроскопа, а также поглощением света различными оптическими средами, расположеными на пути от источника света до плоскости изображения.

В связи с этим при микросъемке чаще применяются высокочувствительные негативные материалы, обеспечивающие получение нормального негатива при кратковременной экспозиции.

Длительные выдержки возможны только при условии стабильности напряжения в электросети, обеспечивающей постоянство силы света, и при отсутствии вибраций, отрицательно влияющих на резкость изображения. Кроме того, долговременное экспонирование создает опасность перегрева препарата, светофильтров и других оптических приспособлений, расположенных на пути светового пучка.

При съемке движущихся объектов преимущество кратковременных экспозиций становится очевидным.

В связи с низким контрастом изображения при микросъемке обычно используются негативные материалы с гаммой 1,5—1,9, а в некоторых случаях особо контрастные пластиинки или пленки с гаммой 2,5—3.

Исключение представляют цветные объекты, где яркостной контраст легче поддается изменению с помощью светофильтров избирательного поглощения.

Для более четкой передачи мелкой структуры объекта рекомендуется использовать фотографические материалы с мелкозернистым эмульсионным слоем.

Спектральная чувствительность негативных материалов должна соответствовать спектральному составу света и окраске изображения.

При съемке черно-белого объекта с зеленым коррекционным светофильтром применяются ортохроматические негативные материалы, хорошо сенсибилизованные к зелено-желтой части спектра.

При употреблении синего светофильтра, предназначенногодля повышения разрешающей способности микроскопа,

можно использовать несенсибилизированный негативный материал.

Однако чаще всего при микросъемке применяются изопанхроматические пластиинки или пленки, позволяющие производить съемку с различными светофильтрами избирательного поглощения.

Светочувствительность, гамма, фотографическая широта и зернистость зависят также от лабораторной обработки негативного материала.

Существенное значение имеет способность фотографического материала изменять светочувствительность и контраст в зависимости от времени проявления и состава проявителя.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПОЗИЦИИ

Величина экспозиции при микросъемке зависит от следующих факторов:

- 1) интенсивности и спектрального состава излучения источника света;
- 2) используемых рассеивателей, охладителей и светофильтров;
- 3) фокусного расстояния и апертуры конденсора и объектива;
- 4) плотности и окраски объекта;
- 5) типа окуляра и его фокусного расстояния;
- 6) расстояния от окуляра до плоскости изображения;
- 7) диаметра отверстия апертурных диафрагм;
- 8) свойств негативного материала;
- 9) лабораторной обработки негатива.

Как видно из приведенного перечня, на величину экспозиции при микросъемке оказывают влияние многочисленные и разнообразные факторы. Важнейшим из них является светосила объектива микроскопа, выражаемая через нумерическую апертуру.

Однако определить экспозицию на основании соотношения апертур объективов не представляется возможным.

Смена объективов влечет за собой изменение фокусировки конденсора, увеличение или уменьшение диаметра отверстия диафрагм, изменение расстояния от окуляра до плоскости изображения, смену фильтра и окуляра и т. п.

В связи с этим определение экспозиции расчетным путем весьма затруднено.

Единственным критерием при определении экспозиции является характер оптического изображения. Однако и здесь мы имеем дело с тремя основными факторами — освещенностью, яркостным контрастом и окраской изображения.

Экспонометрические замеры освещенности изображения не дают положительных результатов.

Обычные экспонометры перестают реагировать на низкие освещенности, с которыми чаще всего приходится иметь дело при микросъемке. Необходимы фотоэлементы наивысшей чувствительности.

Светофильтры избирательного поглощения и окраска объекта оказывают существенное влияние на показания экспонометра.

Кроме этого, экспонометр, помещенный в плоскости изображения, реагирует на освещенность фона, а не объекта съемки.

Наиболее удобным способом определения экспозиции является пробная съемка. Пробный негатив дает наглядное представление о качестве фотографического изображения с учетом всех факторов, в том числе лабораторной обработки.

По снятому и обработанному негативу можно судить не только о величине экспозиции, но также и о проработке деталей объекта, влиянии фильтров, контрасте, резкости изображения и т. п.

Пробный негатив изготавливается в виде ступенчатого клина, состоящего из ряда полос различной плотности.

Для получения ступенчатого клина на пластинках или форматных пленках необходимо соответствующим образом подготовить кассету фотоаппарата.

Крышка кассеты выдвигается так, чтобы освещенной оказалась полностью вся пластинка. С тыльной стороны крышки карандашом или острым инструментом наносится поперечная линия вровень с устьем кассеты. Эта линия показывает исходное положение крышки.

Свободная поверхность крышки делится на равные ступени, количество которых зависит от размера пластиинки. Каждая ступень отмечается карандашной поперечной линией.

Для пластиинок 13×18 см число ступеней колеблется от 6 до 9 при ширине каждой ступени от 2 до 3 см. Для пластиинок 9×12 и $6,5 \times 9$ см количество ступеней не превышает 6 при ширине от 1,5 до 2 см.

После того как крышка кассеты размечена, приступают к экспонированию пластиинки. При этом надо стремиться к тому, чтобы сходные участки изображения попали на каждую ступень.

Первая экспозиция производится при выдвинутой до первой черты крышке. Экспонируется вся пластиинка полностью. Допустим, что время выдержки для этой первой полосы будет равно 1 сек.

После этого крышка кассеты вдвигается до второй черты и пластиинка опять экспонируется в течение того же времени выдержки. Крышка снова вдвигается до третьей черты, и время выдержки увеличивается до 2 сек. Все последующие съемки производятся при удвоенном времени экспозиции.

В результате после обработки негатива будет получен экспозиционный клин с постепенно возрастающими плотностями (рис. 84).

Если количество ступеней равно 6, а начальная выдержка равна 1 сек., то последовательный ряд экспозиций будет представлять собой геометрическую прогрессию следующего порядка: 1—2—4—8—16—32 сек.

При таком широком интервале выдержек всегда найдется одна ступень с правильной экспозицией.

Экспонирование следует производить с помощью свето-непроницаемой заслонки, помещаемой перед зеркалом микроскопа. Не рекомендуется пользоваться выключателем лампы, так как большая часть экспозиционного времени будет затрачена на накал нити лампы. При кратковременных выдержках удобно пользоваться затвором.

При работе малоформатной камерой с 35-мм кинопленкой на каждую ступень клина приходится расходовать один полный кадр.

Если съемка клина произведена на форматной фотопленке, то последнюю можно разрезать в продольном направлении на две равные части и произвести лабораторную обработку каждой части при различном времени проявления.

Необходимо иметь в виду, что при экспонировании негативного материала отдельными кратковременными выдержками фотографический эффект несколько снижается сравнительно с непрерывным освещением, равным по времени сумме отдельных выдержек.

Приступая к окончательной съемке, надо сократить время выдержки примерно на 25% против найденного времени по ступенчатому клину.

При выборе экспозиции для съемки рекомендуется сравнить изображение на пробном негативе с изображением, видимым глазом в микроскоп. Это позволяет более точно ориентироваться в оценке контраста, резкости и проработки отдельных деталей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для получения доброкачественных фотографий при съемке через микроскоп необходимо хорошо изучить устройство биологического микроскопа; иметь ясное представление о работе его оптической системы и практически освоить взаимодействие основных частей всей микрофотографической установки в целом.

Микросъемка относится к числу сложных видов фотографической съемки.

Возможно, что на первых порах начинающего постигнет неудача. Однако это не должно служить поводом к разочарованию. После первых неудачных снимков непременно последуют хорошие, а затем и отличные фотографии. Стоит только приложить немного терпения и настойчивости.

Занятие микрофотографией приучает к точному учету всех фотографических и оптических факторов, с помощью которых создается фотографическое изображение.

Микрофотография дает возможность освоить в новом качестве микроскоп — один из самых распространенных оптических приборов — и добиться от него предельно высоких результатов.

Съемка тончайших по своей структуре объектов позволяет полнее изучить и освоить негативные материалы и фотопроцессы.

С помощью микрофотографии можно получить изображение таких деталей объекта, которые зачастую ускользают от внимания исследователя, не до конца использующего возможности микроскопа.

Большое практическое значение приобретает систематическая запись всех условий съемки. Регистрацию технических условий следует сопровождать оценкой снятого изображения и прилагать копии фотоотпечатков.

ЛИТЕРАТУРА

«Вопросы микроскопии», сборник статей, Машгиз, 1956.

Л. Г. Титов, Микроскопы, их принадлежности и применение, ОНТИ, 1934.

Л. И. Цукерман, Руководство по микрофотографии для минералогов и петрографов, ОНТИ, 1936.

Ч. Шиллабер, Микрофотография. Перевод с английского М. А. Пешкова, М., Издательство иностранной литературы, 1951.

К. Михель, Основы теории микроскопа. Перевод с немецкого М. В. Лейкина под редакцией проф. Г. Г. Слюсарева, М., Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.

Georg Fiedler, Exakta Makro-und Mikro-Fotografie, Halle, 1954.

Dr. Ludwig Otto, Das Mikroskop, Leipzig/Jena, 1957.

Jiří Fiala-Jan Schlemmer, Základy praktické makrofotografie a mikrofotografie, Orbis. Praha, 1956.



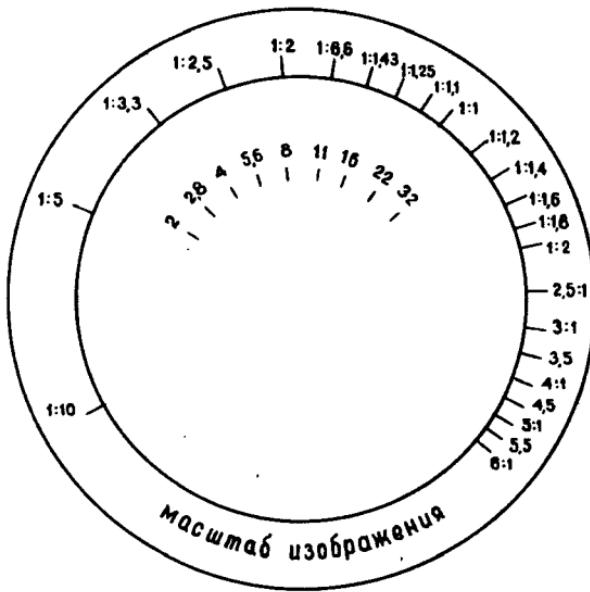
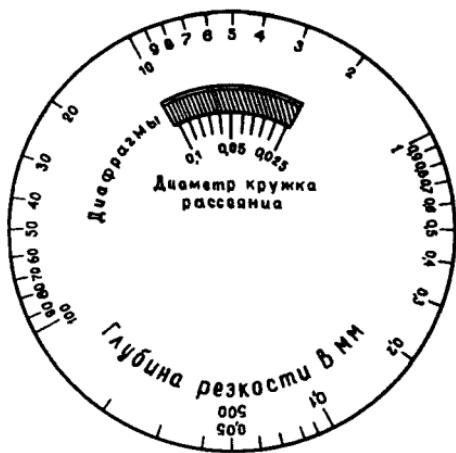
ПРИЛОЖЕНИЯ

ФОТОПРИЛОЖЕНИЯ ВЫПОЛНЕНЫ:

**Н. Н. Кудряшовым (1, 2, 3, 5, 6),
С. М. Прохоровым (4, 8, 9, 10, 11),
студентами МГУ (7),
Б. А. Гончаровым (12—22).**

П О П Р А В К А

Подпись к рис. 20 отнести к рис. 22, а подпись к рис. 22
к рис. 20.



1. Круговая номограмма для определения глубины резко изображаемого пространства при макросъемке.

Диски следует вырезать и наклеить на картон или целлулоид. Вырезать также заштрихованную часть на малом диске против надписи «Диафрагмы». Затем малый диск наложить на больший, совместить центры и скрепить проволочкой так, чтобы меньший диск мог вращаться относительно большего диска в центральной точке.

Правила работы с круговой номограммой описаны на стр. 17

