

## PMC 6 «Исследование спектров поглощения и пропускания»

### Цель работы

Исследование спектральных характеристик абсорбционных светофильтров на основе цветного стекла

### 1. Краткие сведения из теории

#### Абсорбция света

Поглощением (абсорбцией) света называется явление потери энергии световой волны при прохождении её через вещество вследствие возбуждения колебаний электронов среды . Эта энергия частично переходит во внутреннюю или в энергию вторичного излучения.

Поглощение света в веществе подчиняется закону Бугера-Ламберта:

$$I=I_0 e^{-\alpha l} \quad , \quad (1)$$

где  $I, I_0$  - интенсивность плоской монохроматической волны падающего и прошедшего через слой вещества излучения соответственно,  $\alpha$  - линейный коэффициент поглощения (показатель поглощения) света веществом , зависящий от длины волны  $\lambda$  (или частоты ) света , химической природы и состояния вещества и независящий от интенсивности света ,  $l$  -толщина поглощающего слоя.

Коэффициент  $\alpha$  различается для разных веществ . Для одноатомных газов и паров металлов , где атомы расположены на значительных расстояниях друг от друга ,  $\alpha \rightarrow 0$  и только в узких спектральных областях ( $10^{-12} - 10^{-11}$  м) наблюдаются резкие максимумы (линейчатый спектр поглощения ). Эти области резкой абсорбции атомов соответствуют частотам собственных колебаний электронов внутри атомов.

Колебания атомов в молекулах расширяют спектр поглощения, образуя полосы поглощения (около  $10^{-10} - 10^{-7}$  м).

Коэффициент поглощения для диэлектриков невелик (порядка  $10^{-3} - 10^{-7}$  м $^{-1}$ ) из-за отсутствия свободных электронов, однако в условиях резонанса при вынужденных колебаниях электронов в атомах и атомов в молекулах возникает сплошной спектр поглощения.

Для металлов значение  $\alpha$  велико ( $10^3 - 10^5$  см $^{-1}$ ) , так как из-за существования свободных электронов световая энергия быстро переходит во внутреннюю.

Коэффициент поглощения  $\alpha$  зависит от длины волны, поэтому поглощающие вещества окрашены. Например, стекло, слабо поглощающее красные лучи и сильно поглощающее синие и зеленые лучи, при освещении белым светом будет казаться красным, а при освещении синим и зеленым светом - черным из-за сильного поглощения. Это явление используется в светофильтрах, которые в зависимости от химического состава пропускают свет только определённых длин волн. Таким образом, чем больше  $\alpha$  для данной длины волны, тем отчетливее обнаружится ослабление соответствующих участков спектра поглощения.

## Спектральные характеристики стекол

Спектральная характеристика стекол характеризуется численными значениями показателя поглощения  $k_\lambda$  или оптической плотности  $D_\lambda$  для различных длин волн и спектральными кривыми коэффициента пропускания  $\tau_\lambda$ , оптической плотности  $D_\lambda$  и логарифма оптической плотности  $\lg D_\lambda$ .

Показатель поглощения стекла  $k_\lambda$  для света длиной волны  $\lambda$  определяется из выражения

$$k_\lambda = \frac{-\lg \tau_\lambda}{l} \quad (3),$$

где  $\tau_\lambda$  - коэффициент пропускания стекла толщиной  $l$  (мм) для монохроматического света длиной волны  $\lambda$ .

Оптическая плотность  $D_\lambda$  массы стекла для монохроматического света длиной волны  $\lambda$  связана с показателем поглощения  $k_\lambda$  и коэффициентом пропускания  $\tau_\lambda$  следующим соотношением:

$$D_\lambda = -\lg \tau_\lambda = k_\lambda l. \quad (4)$$

При расчете оптической плотности светофильтра необходимо учитывать, кроме поглощения света, потери на отражение от двух поверхностей стекла и вводить соответствующую поправку.

Коэффициент пропускания  $\tau_\lambda$  светофильтра толщиной  $l$  (мм) при перпендикулярном падении монохроматического света данной длины волны равен:

$$\tau_\lambda = (1-\rho)^2 \tau_\lambda = (1-\rho)^2 \cdot 10^{-k_\lambda l}, \quad (5)$$

где  $\rho$  – коэффициент отражения.

Оптическая плотность  $D'_\lambda$  светофильтра для данной длины волны равна:

$$D'_\lambda = -\lg \tau'_\lambda = D_\lambda + D_\rho = k_\lambda l + D_\rho. \quad (6)$$

где  $D_\rho$  – поправка на отражение света от двух поверхностей стекла.

Поправка на отражение определяется из выражения

$$D_\rho = -2 \lg(1-\rho), \quad (7)$$

где коэффициент отражения  $\rho$  определяется по формуле Френеля:

$$\rho = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2. \quad (8)$$

Обычно коэффициент отражения  $\rho$  условно принимается за постоянную для стекла каждой марки величину, зависящую только от показателя преломления этого стекла в видимой области спектра  $n_D$ . Фактически показатель преломления непостоянен и зависит

от длины волны проходящего света. Наиболее значительно показатель преломления отличается от  $n_D$  в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра. Это вносит погрешность в определении коэффициента отражения и поправки на отражение от поверхностей стекла. Наибольшей эта погрешность будет в тех случаях, когда рабочая область светофильтра находится за пределами видимого спектра, а величина показателя поглощения мала, т.е. сравнима с величиной коэффициента отражения.

## 2. Приборы и оборудование

Лабораторная установка состоит из следующих узлов:

- монохроматор МУМ-01,
- узел светодиодного излучателя,
- кюветное отделение,
- фотоприемный узел,
- блок обработки сигнала,
- мультиметр.

В узле излучателя установлен специальный светодиод белого света, излучающий в диапазоне 400 .. 700 нм (распределение спектра излучения соответствует графикам сигнала  $U_0$ , приведенным в приложении). Узел излучателя закреплен непосредственно перед входной щелью монохроматора на его корпусе. За входной щелью установлен объектив, формирующий параллельный пучок, проходящий кюветное отделение и попадающий на фотодиод фотоприемного узла.

Функциональная схема блока обработки сигнала приведена на рис. 1.

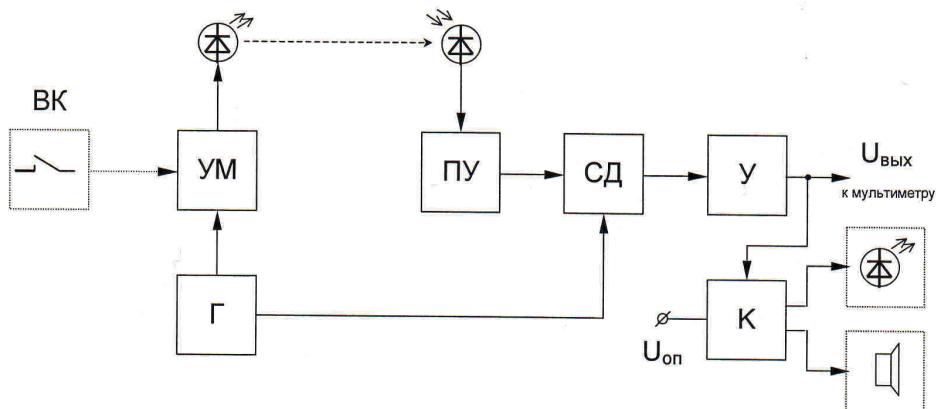


Рис. 1. Функциональная схема лабораторной установки.

Для повышения соотношения сигнал/шум и устранения влияния постоянных засветок питание светодиода излучателя осуществляется модулированным током частотой ~20 кГц, задаваемой генератором Г. Сигнал с фотодиода фотоприемного узла усиливается предварительным усилителем ПУ и поступает на вход синхронного детектора СД, на который также подается сигнал опорной частоты от генератора Г. Вырабатываемое синхронным детектором напряжение усиливается и подается на вход измерительного прибора (мультиметра). Одновременно это напряжение поступает на вход компаратора К, на второй вход которого поступает опорное напряжение  $U_{оп}$ . Величина опорного напряжения

соответствует верхней границе динамического диапазона фотоприемного тракта (в пределах этого диапазона сохраняется линейность световой характеристики тракта). При превышении измеряемым сигналом уровня опорного напряжения компаратор включает светодиодную и звуковую индикацию. В этом случае с помощью переключателя ВК следует изменить (уменьшить) ток через светодиод излучателя, что приводит к соответствующему уменьшению мощности излучаемого светового потока.

Оптическая схема установки приведена на рисунке 2.

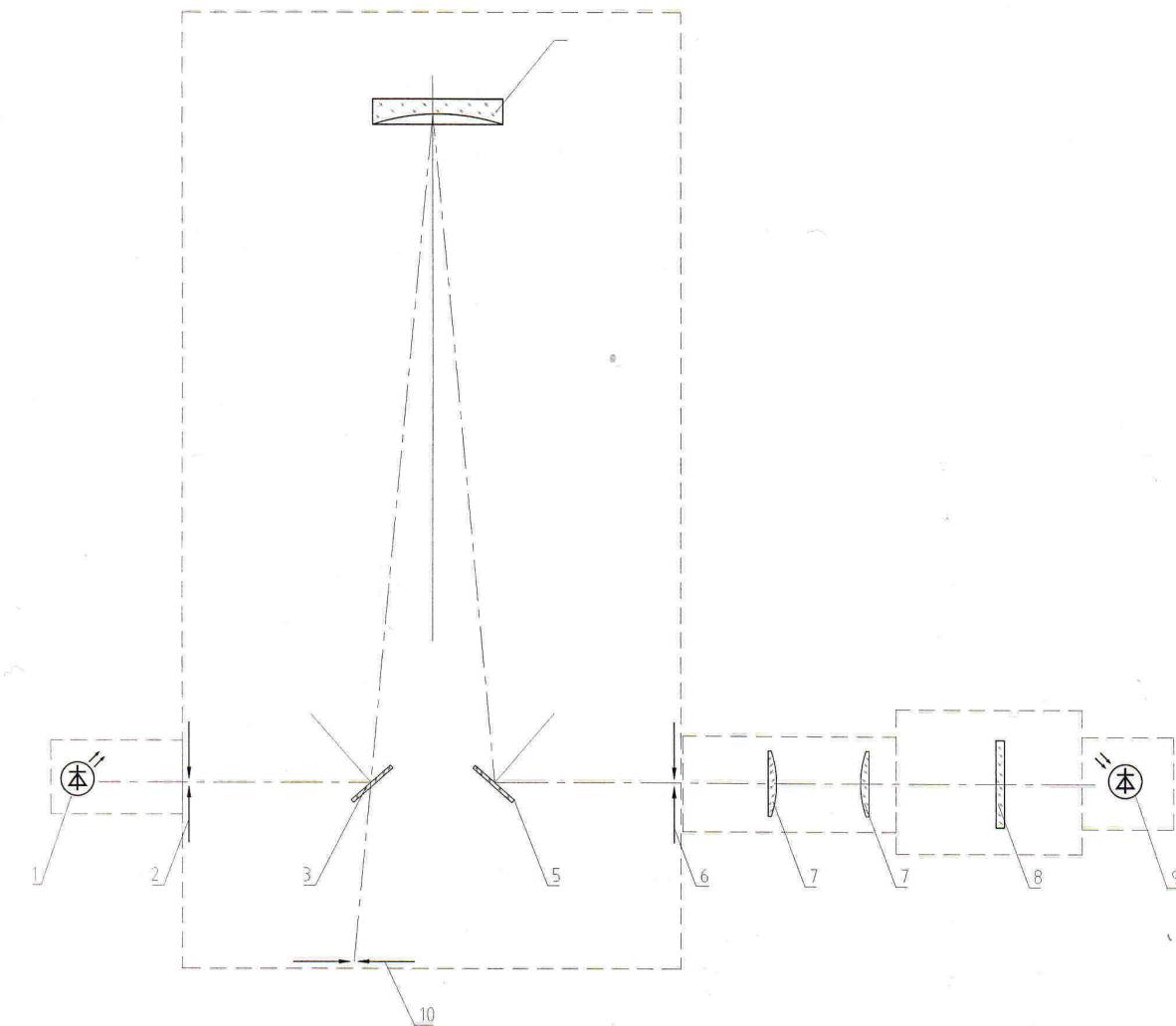


Рис.2. Оптическая схема лабораторной установки.

В качестве диспергирующего и фокусирующего элемента в монохроматоре использована вогнутая дифракционная решетка с переменным шагом нарезки и криволинейными штрихами, что даёт возможность значительно скомпенсировать

расфокусировку и другие aberrации. Излучение от светодиода 1 попадает на входную щель 2 и посредством зеркала 3 попадает на дифракционную решетку 4. Дифракционная решетка 2 строит изображение входной щели 3 в плоскости выходной щели 6. Зеркала 3 и 5 осуществляют излом оптической оси системы для более компактного размещения элементов в корпусе. Кроме того, зеркало 3 может выведено из хода лучей с помощью рукоятки на корпусе монохроматора. В этом случае качестве входной щели может быть использована щель 10 (в настоящей работе этот режим не используется и щель 10 является резервной). За щелью 10 (в настоящей работе этот режим не используется и щель 10 является резервной). За щелью 6 установлена оптическая система из линз 7, которая формирует выходной пучок, направляемый через кюветное отделение с установленным в нем объектом исследования 8 на фотодиод 9 фотоприемного узла. Сканирование спектра осуществляется поворотом решетки 5 вокруг оси 0 на угол  $\phi$  в пределах от  $\phi_0=6^{\circ}54'$  до  $\phi_k=28^{\circ}44'$ . Закон движения решетки обеспечивается синусным механизмом, в котором для перемещения опорной поверхности служит винт. Системой зубчатых передач синусный механизм связан с решеткой рукояткой, расположенной на торцевой стенке монохроматора, и цифровым механическим счетчиком, вмонтированным в корпус монохроматора, с помощью которого осуществляется непосредственный отсчет длин волн с точностью  $\pm 0,2$  нм.

#### Основные спектральные характеристики:

Рабочий диапазон длин волн монохроматора 290 – 800 нм.

Рабочий диапазон длин волн спектрофотометрического тракта (излучатель – монохроматор – фотоприемник) 370 – 700 нм.

Величины обратной линейной дисперсии – 3,2 нм/мм.

Щели на выходе и входе монохроматора сменные, постоянной ширины. Для получения большей спектральной чистоты выделяемого излучения при работе в области спектра от 330 до 660 нм входная и выходная щели устанавливаются в положение I, а при работе в области спектра от 200 до 260 и от 730 до 80 нм щели устанавливаются в положение II, в областях от 260 до 330 нм и от 660 до 730 нм входная – в положение I(II), и выходная в положение II(I). В настоящей работе фотоприемный тракт работает в диапазоне 370 – 670 нм, поэтому входная и выходная щели могут быть оставлены в положении I.

Исследуемый образец помещают в тубус с закрывающейся крышкой. В качестве объектов для исследования прилагаются светофильтры из цветного оптического стекла. Примеры спектров пропускания фильтров приведены в приложении.

*Внимание! Приведенные данные носят демонстрационный характер. Реальные спектры и кривая  $U_0$  могут отличаться от приведенных.*

### 3. Порядок выполнения работы

Порядок проведения измерений:

1. Включите источник питания и вольтметр. Установите на мультиметре предел измерений 20 В.
2. Установите входную и выходную щели 0.25 мм в положении I.
3. Подождите не менее 5 минут для стабилизации теплового режима приемника излучения.
4. Произведите калибровку оптической системы. Для этого следует при пустом тубусе кюветного отделения снять зависимость показаний мультиметра ( $U_0$ ) от длины волны

$\lambda$  в диапазоне длин волн от 370 нм до 830 нм с шагом 5 нм. При необходимости переключайте пределы измерения мультиметра (20В, 2В, 200мВ).

5. Поместите в тубус кюветного отделения поочередно прилагаемые светофильтры и снимите соответствующие зависимости показаний мультиметра ( $U_1$ ) от  $\lambda$  для каждого светофильтра в том же диапазоне длин волн (длину волны рекомендуется устанавливать с тем же шагом, что и в п.4).
6. Выключите источник питания и мультиметр.

- Если измеренное вольтметром напряжение составляет менее 0.1В, рекомендуется установить щели большей ширины или снять щель перед источником излучения.
- При больших световых потоках возможна перегрузка приемника излучения. При этом включается красный мигающий индикатор перегрузки и раздается звуковой сигнал. В этом случае рекомендуется уменьшить мощность источника излучения, переведя переключатель на блоке обработки сигнала в положение 0.
- Приемник излучения и блок обработки сигнала чувствительны к воздействию сильного переменного электромагнитного поля, поэтому не рекомендуется располагать РМС поблизости от радиопередающих устройств (в частности, мобильных телефонов) – это может вызвать ошибки в измерениях.

7. Постройте графики зависимости коэффициента пропускания светофильтра излучения от длины волны I ( $\lambda$ ):

$$T = U_1/U_0.$$

8. Сделайте соответствующие физические выводы, охарактеризуйте цвет фильтра по полученной для него спектральной характеристике.

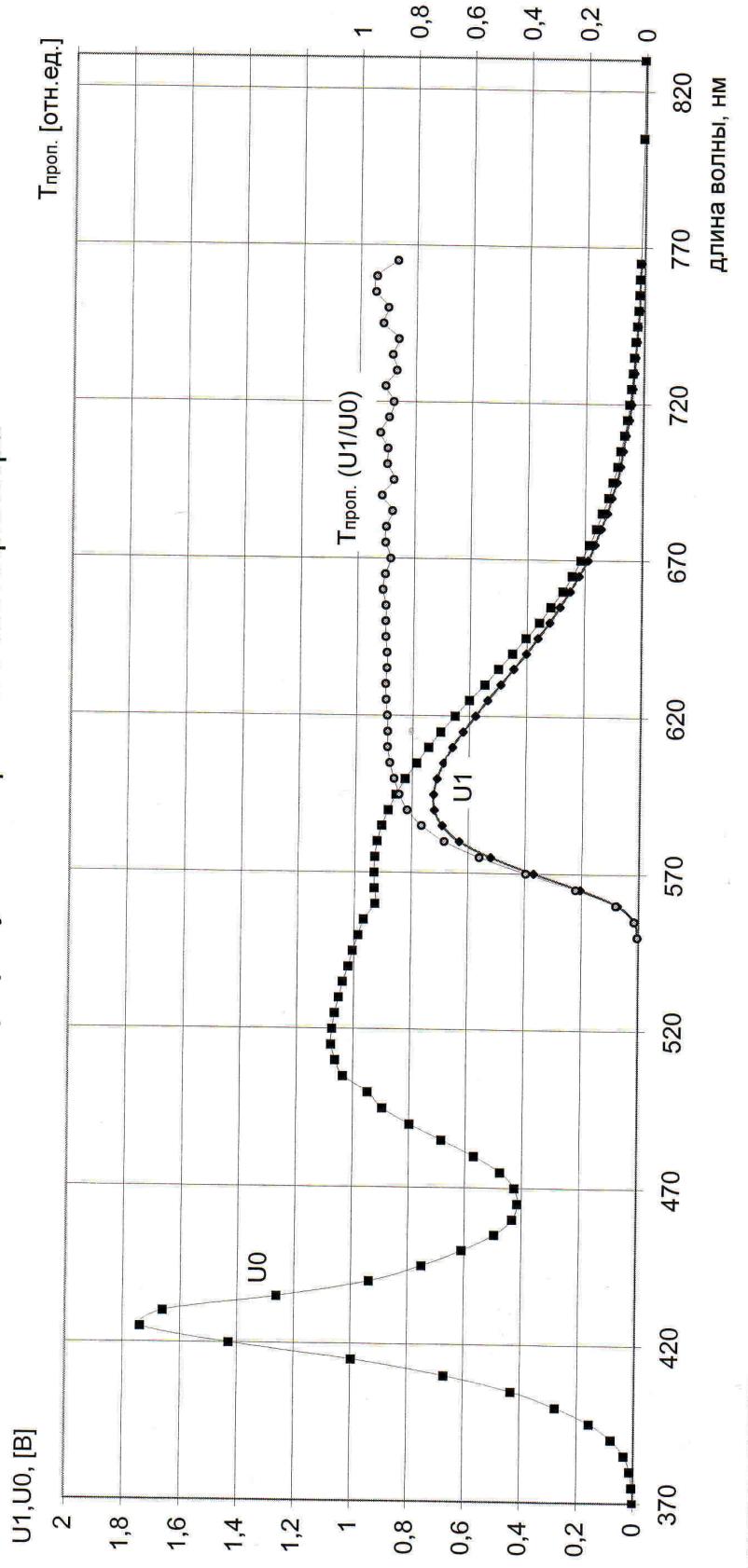
В качестве дополнительного задания предлагается рассчитать и построить графики зависимости коэффициента поглощения и оптической плотности от длины волны. Для упрощения расчетов потерю на отражение на входной и выходной гранях светофильтра предлагается принять равными ~3% и не зависящими от длины волны. Толщину светофильтра принять равной 2 мм.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ландсберг Г.С.. Оптика: Учеб. пособ. для вузов.- 5-изд., перераб. и доп.. – М.: Наука, 1976.- 929 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособ. для вузов.- 6-изд., стереотип. – М.: Высш. шк., 1999. – 544 с.
3. Калитеевский Н.И. Волновая оптика: Учеб. пособ. для вузов.- 3-изд., перераб. и доп.. – М.: Высш. шк., 1995. –463 с.
4. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика: Оптические материалы. Источники, приемники, фильтрация оптического излучения: Учеб. для вузов. – М., Изд-во Моск. ун-та, 1994. – 364 с.
5. Цветное оптическое стекло и особые стекла. Каталог. Под. ред Г.Т.Петровского. – М.: Дом оптики, 1990. – 227 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## Спектр пропускания красного светофильтра

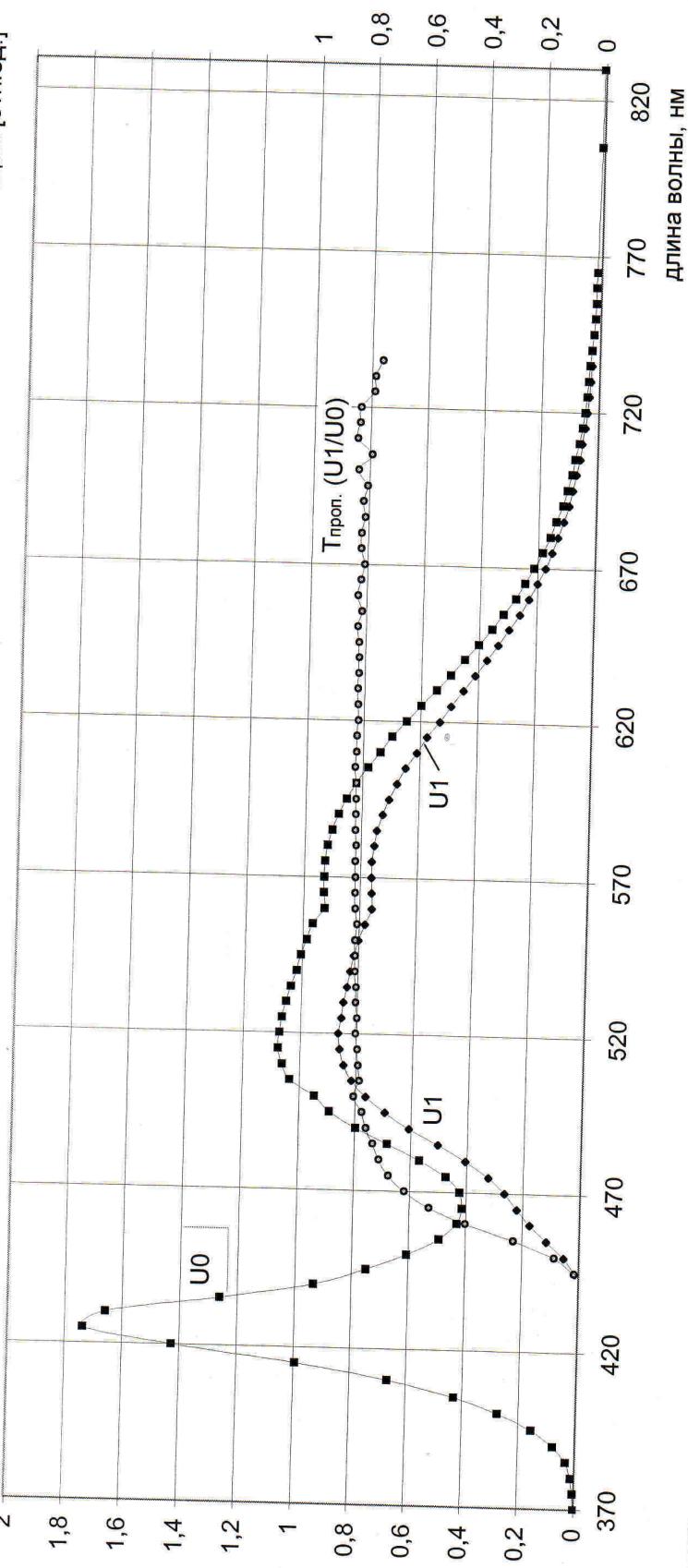


*Внимание! Приведенные данные носят демонстрационный характер. Реальные спектры и кривая  $U_0$  могут отличаться от приведенных.*

### Спектр пропускания желтого светофильтра

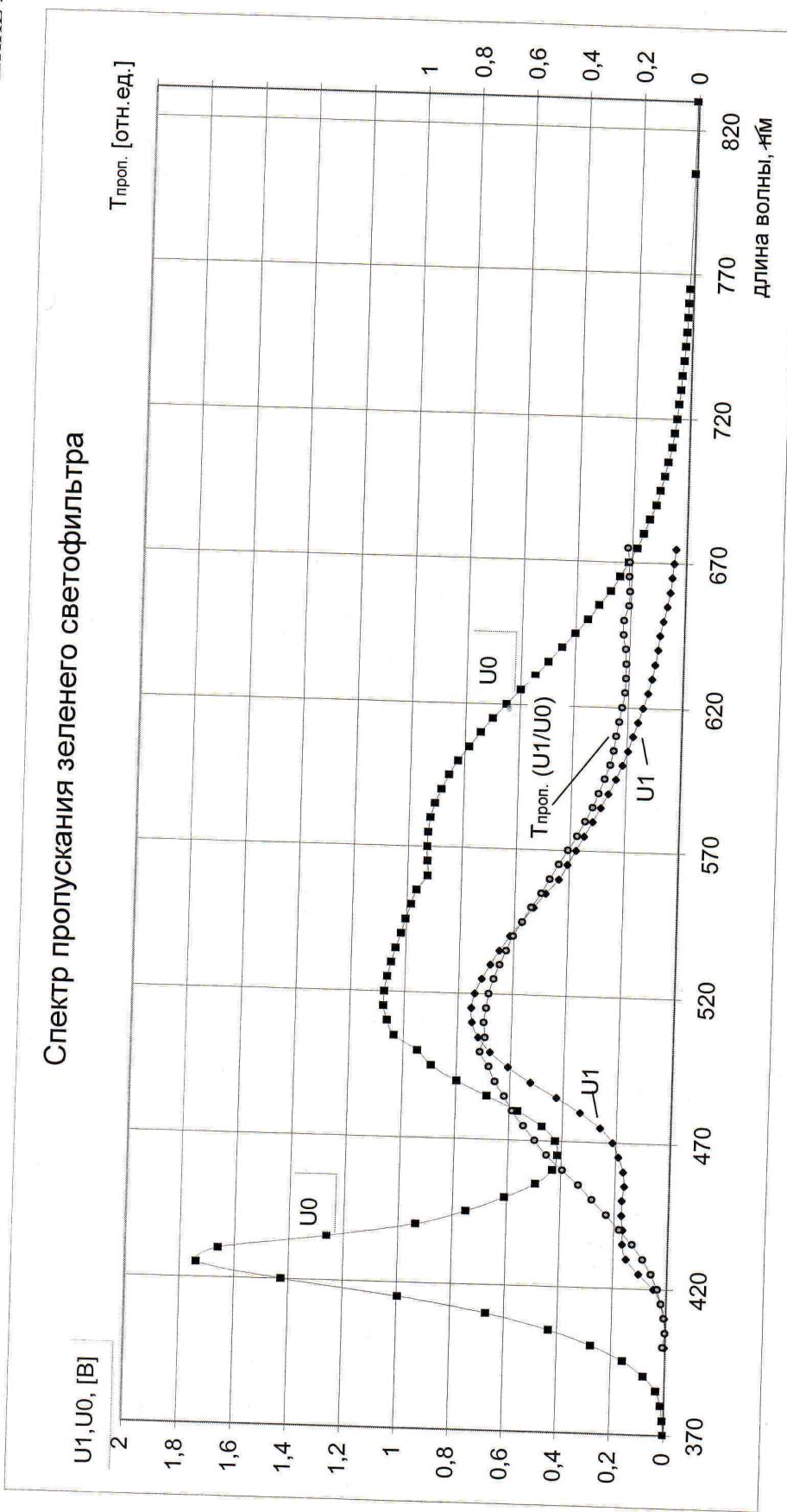
$U_1, U_0, [\text{В}]$

$T_{\text{проп.}} [\text{отн.ед.}]$



*Внимание! Приведенные данные носят демонстрационный характер. Реальные спектры и кривая  $U_0$  могут отличаться от приведенных.*

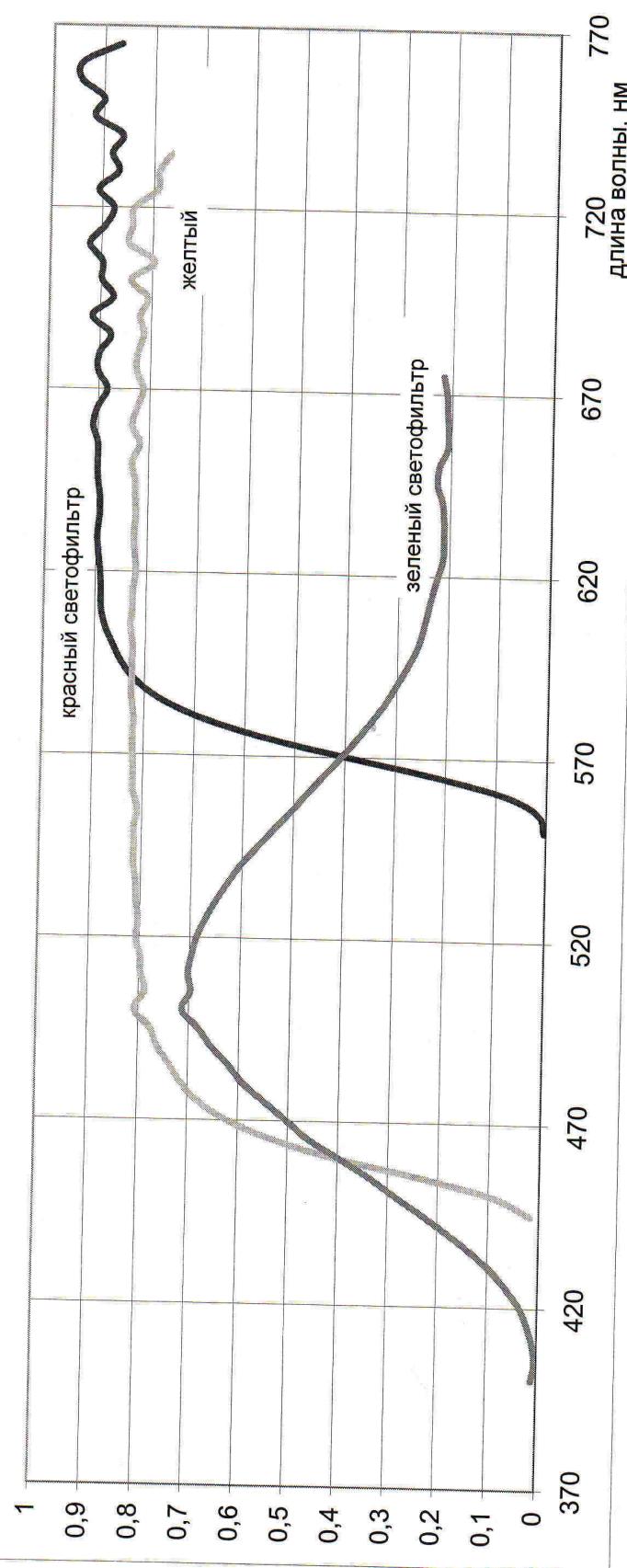
### Спектр пропускания зеленого светофильтра



*Внимание! Приведенные данные носят демонстрационный характер. Реальные спектры и кривая  $U_0$  могут отличаться от приведенных.*

Спектры пропускания цветных стекол  
(результаты измерений)

$T_{\text{проп.}}$  [отн.ед.]



## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

## Светофильтры из цветного стекла, выпускаемые промышленностью РФ

Маркировка отечественных стеклянных светофильтров включает в себя: обозначение типа светофильтра (до 1974 года указывалась напрямую сорт стекла), диаметр оправы или резьбы объектива, для которого предназначен светофильтр, и марку (товарный знак) завода-изготовителя

Обозначение	Экспортное	Марка стекла	Цвет	Назначение	Кратность	
					при дневном освещении	при освещении лампами накаливания
О-2,8 <sup>х</sup>	O-2.8 <sup>х</sup>	ОС-12	оранжевый	Поглощает сине-зеленые и фиолетовые лучи. Голубое небо получается темно-серым. Повышает контраст изображения дальних планов, завуалированных атмосферной дымкой.	2,8	2
Н-4 <sup>х</sup>	N-4 <sup>х</sup>	НС-8	нейтрально-серый	Для уменьшения освещенности за объективом, когда уменьшить ее с помощью диафрагмы невозможно или нежелательно.	4	4
УФ-1 <sup>х</sup>	UV-1 <sup>х</sup>	ЖС-10	бесцветный	Для уменьшения влияния ультрафиолетовых лучей на контраст получаемого изображения при съемках в горах или рано утром.	1	1
ЖЗ-1,4 <sup>х</sup>	YG-1.4 <sup>х</sup>	ЖЗС-5	светло-желто-зеленый	Для приближения соотношения яркостей в черно-белом изображении к соотношению яркостей цветного объекта съемки.	1,4	1,4
ЖЗ-2 <sup>х</sup>	YG-2 <sup>х</sup>	ЖЗС-9	желто-зеленый	Дает аналогичный ЖЗ-1,4 <sup>х</sup> , но более ярко выраженный эффект.	2	2
Ж-1,4 <sup>х</sup>	Y-1.4 <sup>х</sup>	ЖС-12	светло-желтый	Для ослабления воздействия сине-голубых лучей на эмульсионный слой фотопленки. При съемке голубого неба с облаками усиливает контраст.	1,4	1
Ж-2 <sup>х</sup>	Y-2 <sup>х</sup>	С-17	желтый	Поглощает сине-голубые лучи в большей степени, чем светофильтр Ж-1,4 <sup>х</sup> . Голубое небо получается серым, средней плотности. Ослабляет влияние атмосферной дымки.	2	1,4
К-8 <sup>х</sup>	R-8 <sup>х</sup>	КС-11	красный	Поглощает синие, зеленые и фиолетовые лучи. Применяется при съемках в целях уничтожения атмосферной дымки и для специальных эффектов, например, для съемки днем "под ночь".	8	4
Г-1,4 <sup>х</sup>	B-1.4 <sup>х</sup>	СС-2	голубой	Ослабляет оранжево-красные лучи. Позволяет уменьшать контраст изображения дальних планов с целью усиления эффекта воздушной перспективы.	1,4	2

Ниже приведены выдержки из каталога оптического цветного стекла с параметрами некоторых стекол

# ЦВЕТНОЕ ОПТИЧЕСКОЕ СТЕКЛО И ОСОБЫЕ СТЕКЛА

Каталог

Под редакцией члена-корреспондента АН СССР,  
доктора химических наук, профессора  
Г. Т. Петровского

Москва  
1990

УДК [666.22: [666.24+666.266.5+  
+666.266.7]+681.7(31)] (085.2)

Составители: К. И. Арефьев, Н. И. Гребешникова,  
З. Е. Корнилова, Е. А. Неструна, С. П. Луяхин,  
А. Е. Икунинская (часть I "Цветное оптическое  
стекло"); Л. В. Грачева, Н. П. Дорфман,  
О. С. Дымшиц, Е. А. Кислинская, В. Ф. Кокорина,  
Т. И. Чуаева, В. А. Чехомский (часть II "Особые  
стекла")

В НАСТОЯЩЕМ КАТАЛОГЕ ПРИВЕДЕНЫ  
СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ЦВЕТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ,  
БЕСКИСЛОРОДНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ  
ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, ФОТОХРОМНЫХ СТЕКОЛ  
И ОПТИЧЕСКИХ СИПЛАТОВ.

© Дом оптики, 1990

В табл. I.5 (с. 46–106 и 118–150) представлены показатели поглощения  $\alpha(\lambda)$   
стекол в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Диапазон  
длин волн и интервалы между приводимыми величинами показателей по-  
глощения изменяются в зависимости от характеристики спектральных свойств и  
назначения стекол. Спектральные кривые коэффициентов пропускания  $\tau(\lambda)$  даны  
для стекол, имеющих толщину 3 мм, т. е. близкую к наиболее часто используе-  
мой рабочей толщине светофильтров.

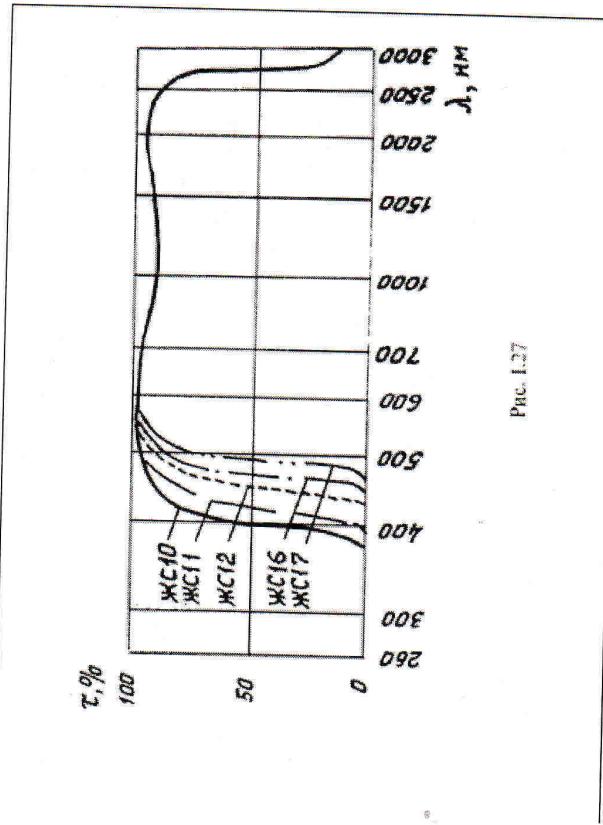
Для большой группы желтых, оранжевых и красных стекол в табл. I.5  
(с. 98, 108–116) приведены значения не показателей поглощения, а оптической  
плотности  $D\lambda$ . Это обусловлено тем, что для них определяющей величиной  
является установленное для каждой марки стекла положение границы поглоще-  
ния  $\lambda_{pr}$ , которое по технологическим условиям и в зависимости от размеров  
светофильтров может быть достигнуто в пределах изменения толщины от 2 до  
10 мм, а по особому заказу – и при других значениях. Величины оптической  
плотности и спектральные кривые коэффициентов пропускания этих стекол  
даны для толщины, обеспечивающей установленные значения  $\lambda_{pr}$ , которая в  
данном частном случае равна 5 мм (для стекла марки ЖС10–6 мм, марки  
ИКС970-1 – 7 мм).

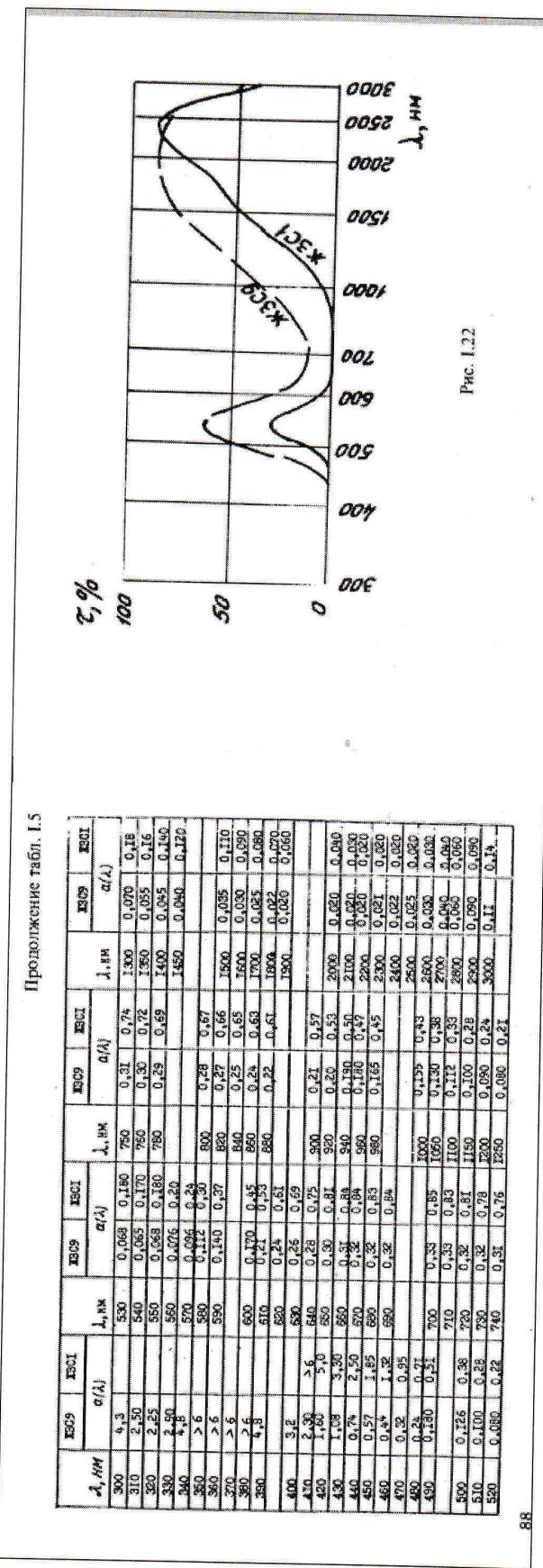
Продолжение табл. I.5

$\lambda, \text{nm}$	ЖС10	ЖС11	ЖС12	ЖС16	ЖС17	$\lambda, \text{nm}$	ЖС10	ЖС11	ЖС12	ЖС16	ЖС17
Оптическая плотность $D(\lambda)$ стекла											
370	>10	6.0				650	0.005	0.005	0.005	0.005	0.010
380	3.4	5.9				670	0.008	0.006	0.006	0.006	0.011
390	0.22	2.9				690	0.028	0.016	0.014	0.014	0.024
400	0.31	1.95				710	0.130	0.010	0.010	0.010	0.124
410	0.170	0.75	>10			730	0.012	0.012	0.012	0.010	0.013
420	0.110	0.33	2.20			750	0.015	0.015	0.015	0.012	0.014
430	0.072	0.180	2.85			770	0.020	0.020	0.020	0.015	0.015
440	0.056	0.115	0.85	>10		790	0.025	0.025	0.025	0.020	0.020
450	0.046	0.085	0.32	5.6		810	0.035	0.035	0.035	0.025	0.025
460	0.037	0.060	0.190	1.35	>10	830	0.035	0.035	0.035	0.030	0.030
470	0.031	0.045	0.190	0.38	5.8	850	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
480	0.026	0.033	0.085	0.750	7.56	870	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
490	0.021	0.025	0.055	0.055	0.92	900	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
500	0.016	0.016	0.038	0.038	0.130	930	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046
510	0.013	0.013	0.034	0.030	0.030	960	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
520	0.011	0.011	0.021	0.021	0.021	990	0.029	0.029	0.029	0.029	0.029
530	0.009	0.009	0.015	0.015	0.015	1020	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
540	0.007	0.007	0.010	0.010	0.010	1050	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
550	0.005	0.005	0.007	0.007	0.007	1080	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
560	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	1110	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
570	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	1140	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
580	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	1170	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
590	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	1200	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

П р и м е ч а н и я . Изменение оптической плотности для стекол ЖС11, ЖС12, ЖС16 и ЖС17 при получении при температуре 5 °C, а для стекол ЖС10 – при температуре 6 °C, изменило значение оптической плотности для стекол других марок настолько, что для них при температуре от 2 до 10 °C, если заложены в прозрачные.

Рис. I.27





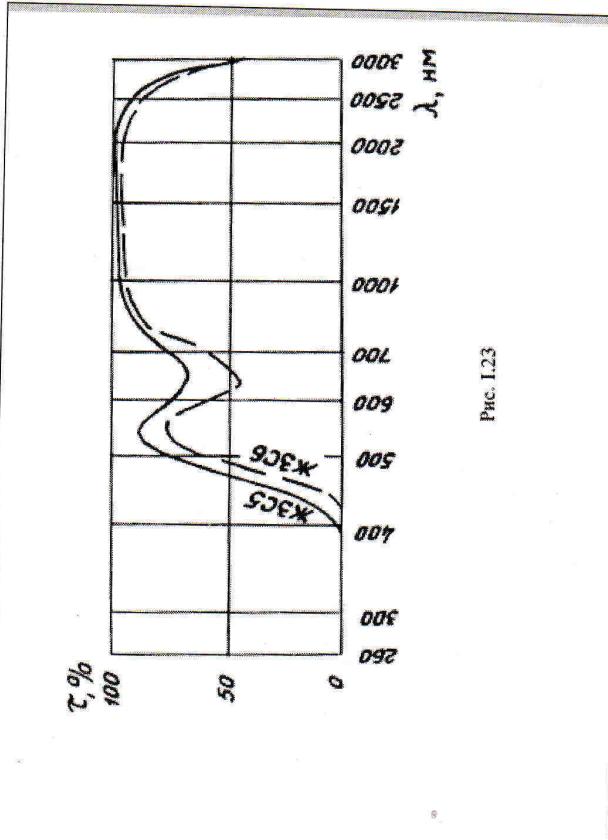
Продолжение табл. I.5

$\lambda_{\text{NM}}$	$\sigma(\lambda)$	1309		1501		1609		1621		1659		1671	
		$\lambda_{\text{NM}}$	$\sigma(\lambda)$										
300	4.3	530	0.068	0.180	750	0.31	0.74	1300	0.070	0.18	1600	0.035	0.16
310	2.50	540	0.065	0.170	760	0.30	0.72	1350	0.055	0.140	1650	0.040	0.120
320	2.25	550	0.059	0.180	780	0.29	0.69	1400	0.045	0.140	1700	0.035	0.110
330	2.00	550	0.076	0.20	800	0.27	0.67	1450	0.040	0.120	1750	0.030	0.100
340	1.8	570	0.066	0.24	820	0.26	0.67	1500	0.035	0.110	1800	0.025	0.090
350	> 6	580	0.112	0.31	830	0.28	0.67	1550	0.035	0.110	1850	0.025	0.080
360	> 6	590	0.140	0.37	850	0.27	0.66	1600	0.035	0.110	1900	0.025	0.070
370	> 6	600	0.170	0.45	840	0.25	0.65	1650	0.030	0.090	1950	0.020	0.060
380	4.8	610	0.21	0.53	850	0.24	0.63	1700	0.025	0.080	2000	0.020	0.050
390	3.2	620	0.24	0.61	860	0.22	0.61	1800	0.022	0.070	2100	0.020	0.040
400	2.50	630	0.26	0.69	870	0.21	0.57	1900	0.020	0.060	2200	0.020	0.030
410	1.8	640	0.28	0.75	900	0.20	0.53	2000	0.020	0.040	2300	0.020	0.020
420	1.00	650	0.30	0.81	920	0.19	0.51	2100	0.020	0.030	2400	0.020	0.010
430	1.38	3.30	0.50	0.88	940	0.180	0.49	2200	0.020	0.020	2500	0.020	0.010
440	0.76	2.60	0.50	0.94	960	0.160	0.47	2300	0.020	0.020	2600	0.020	0.010
450	0.57	1.85	0.60	0.92	980	0.165	0.45	2400	0.020	0.020	2700	0.020	0.010
460	0.48	1.32	0.60	0.92	1000	0.150	0.43	2500	0.025	0.020	2800	0.020	0.010
470	0.32	0.95	0.60	0.94	1020	0.140	0.41	2600	0.020	0.020	2900	0.020	0.010
480	0.24	0.71	0.60	0.95	1040	0.130	0.40	2700	0.020	0.020	3000	0.020	0.010
490	0.190	0.51	0.60	0.95	1060	0.120	0.38	2800	0.020	0.020	3100	0.020	0.010
500	0.126	0.38	0.60	0.93	1100	0.112	0.35	2900	0.020	0.020	3200	0.020	0.010
510	0.100	0.28	0.60	0.92	1150	0.100	0.28	3000	0.020	0.020	3300	0.020	0.010
520	0.080	0.22	0.60	0.91	1200	0.090	0.27	3100	0.020	0.020	3400	0.020	0.010

Продолжение табл. I.5

$\lambda, \text{nm}$	325	336	$a (\text{A})$	$A, \text{HM}$	345	$a (\text{A})$	$A, \text{HM}$	355	$a (\text{A})$	$A, \text{HM}$	365	$a (\text{A})$	$A, \text{HM}$	
280	5.00	0.058	0.100	730	0.036	0.064	1300	0.003	0.016	1300	0.003	0.016		
270	5.10	0.040	0.074	740	0.034	0.057	1350	0.003	0.016	1350	0.003	0.016		
260	5.26	0.050	0.056	750	0.029	0.050	1400	0.003	0.016	1400	0.003	0.016		
250	3.8	5.00	0.022	0.045	760	0.025	0.042	1450	0.003	0.016	1450	0.003	0.016	
300	1.70	1.70	540	0.018	0.040	780	0.018	0.029	1500	0.003	0.016	1500	0.003	0.016
310	0.86	1.11	550	0.018	0.038	800	0.018	0.029	1500	0.003	0.016	1500	0.003	0.016
320	0.72	1.05	550	0.020	0.040	800	0.015	0.020	1500	0.003	0.016	1500	0.003	0.016
330	1.00	1.29	570	0.027	0.042	820	0.021	0.017	1500	0.003	0.016	1500	0.003	0.016
340	1.60	2.60	580	0.032	0.050	840	0.009	0.014	1700	0.003	0.016	1700	0.003	0.016
280	3.45	5.10	590	0.038	0.050	850	0.008	0.012	1800	0.003	0.016	1800	0.003	0.016
350	3.2	2.6	600	0.043	0.070	880	0.007	0.011	1900	0.003	0.016	1900	0.003	0.016
370	2.2	2.6	610	0.048	0.070	900	0.007	0.010	2000	0.004	0.016	2000	0.004	0.016
380	2.50	5.2	610	0.048	0.070	920	0.005	0.009	2100	0.005	0.016	2100	0.005	0.016
390	1.50	3.4	620	0.051	0.094	940	0.005	0.009	2200	0.004	0.016	2200	0.004	0.016
400	1.37	2.30	640	0.058	0.110	960	0.005	0.008	2300	0.005	0.016	2300	0.005	0.016
410	0.75	1.65	650	0.080	0.110	980	0.005	0.008	2300	0.007	0.016	2300	0.007	0.016
420	0.53	1.21	660	0.090	0.110	990	0.005	0.008	2400	0.008	0.016	2400	0.008	0.016
430	0.35	0.89	670	0.056	0.100	1000	0.005	0.007	2500	0.013	0.016	2500	0.013	0.016
440	0.42	0.60	680	0.053	0.093	1020	0.004	0.007	2600	0.010	0.016	2600	0.010	0.016
450	0.21	0.49	680	0.050	0.090	1050	0.004	0.006	2800	0.008	0.016	2800	0.008	0.016
460	0.160	0.34	700	0.046	0.080	1100	0.004	0.006	2800	0.005	0.016	2800	0.005	0.016
470	0.122	0.25	700	0.046	0.080	1150	0.004	0.005	2900	0.005	0.016	2900	0.005	0.016
480	0.097	0.160	710	0.046	0.080	1200	0.004	0.005	3000	0.010	0.016	3000	0.010	0.016
490	0.070	0.130	720	0.040	0.070	1250	0.003	0.005						

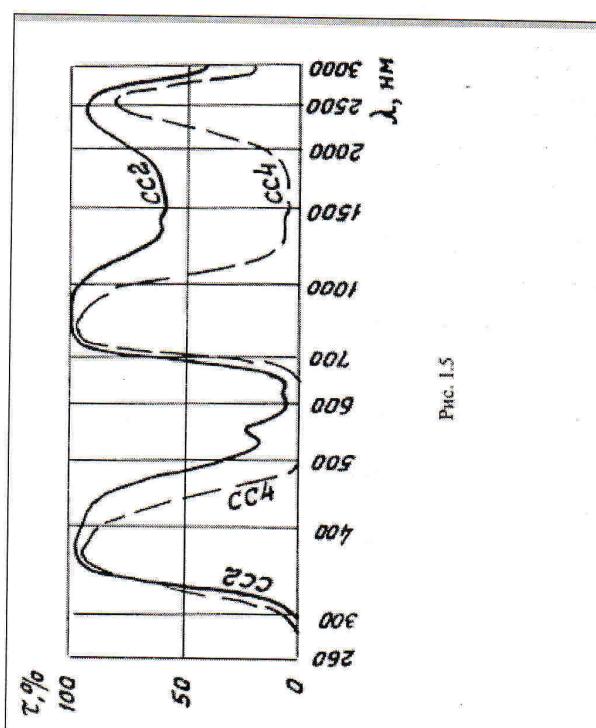
Рис. I.23



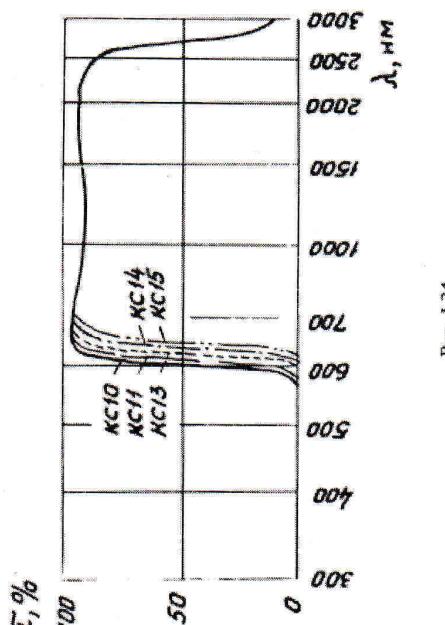
Продолжение табл. 1.5

$\lambda, \text{nm}$	$\alpha (\text{d})$										
220	0.003	0.20	390	0.081	0.24	1250	0.055	0.40			
230	0.050	0.31	710	0.001	0.194	1300	0.072	0.44			
240	0.075	0.48	720	0.010	0.057	1350	0.070	0.43			
250	1.6	0.106	0.68	730	0.005	0.026	1400	0.058	0.42		
260	2.6	0.09	0.62	740	0.004	0.013	1450	0.052	0.44		
270	4.5	5.0	0.440	0.96	750	0.003	0.007	1500	0.072	0.44	
280	2.60	1.80	510	0.190	1.14	760	0.002	0.005	1550	0.072	0.47
290	1.45	1.00	520	0.22	1.43	770	0.001	0.005	1600	0.072	0.44
300	0.67	0.38	540	0.35	1.62	780	0.001	0.005	1700	0.073	0.45
310	0.32	0.25	550	0.22	1.38	820	0.001	0.007	1800	0.070	0.43
320	0.144	0.108	560	0.20	1.28	840	0.001	0.008	1900	0.067	0.35
330	0.055	0.032	570	0.13	1.55	860	0.001	0.009			
340	0.022	0.012	580	0.11	2.00	880	0.001	0.011			
350	0.008	0.005	590	0.39	2.45	900	0.001	0.005	2000	0.042	0.36
360	0.003	0.008	600	0.39	2.45	920	0.002	0.023	2100	0.029	0.18
370	0.003	0.006	600	0.39	2.45	940	0.002	0.015	2200	0.020	0.12
380	0.004	0.010	610	0.38	2.30	940	0.002	0.019	2300	0.011	0.070
390	0.005	0.013	620	0.35	2.25	960	0.003	0.023	2400	0.008	0.050
400	0.006	0.017	630	0.36	2.30	980	0.004	0.023	2500	0.006	0.030
410	0.008	0.025	640	0.37	2.40	1000	0.005	0.037	2600	0.006	0.030
420	0.010	0.037	660	0.32	2.30	1000	0.005	0.037	2700	0.006	0.030
430	0.014	0.070	670	0.25	1.56	1100	0.032	0.140	2900	0.13	0.25
440	0.018	0.100	680	0.17	0.97	1150	0.037	0.23	3000	0.13	0.24
450	0.025	0.140	690	0.065	0.49	1200	0.052	0.31			

Рис. 1.5



Приложение табл. 1.5



34

THE HABITAT OF THE BROWN SPOTTED CUCKOO IN SOUTHERN UGANDA.