

## **Светопропускание оконных конструкций и различные способы достижения нормативных результатов**

к.т.н. А.Г. Чесноков (АО "ГИС", Москва)

В настоящее время на рынке России и стран СНГ появилось большое количество различных листовых стекол для строительства: прозрачные, окрашенные в массе, стекла с покрытиями (низкоэмиссионными, солнцезащитными, зеркальными, декоративными), многослойные стекла, закаленные стекла. Это разнообразие стекол позволяет решать различные архитектурные и проектные задачи: повышать архитектурную выразительность зданий и сооружений, разнообразить внешний вид городов, повышать безопасность эксплуатации зданий и сооружений, экономить топливо и энергию. В то же время ужесточились строительные нормативы по обеспечению естественной освещенности в зданиях, по сопротивлению теплопередаче. Поэтому требования к светопропусканию и теплоизоляции появились в новых стандартах на окна и стеклопакеты.

Перед проектантами и изготовителями окон и светопрозрачных конструкций встала сложная задача одновременного удовлетворения большого числа требований, предъявляемых к остеклению заказчиками и действующими нормативами. Особую сложность этой задаче придает необходимость снижать стоимость остекления, чтобы уложиться в весьма скромные финансовые возможности заказчиков. Данный обзор освещает эту проблему только с одной стороны: как обеспечить необходимый коэффициент пропускания света при выполнении требований по теплоизоляции, безопасности, стоимости.

Для того, чтобы рассмотреть эту проблему необходимо вспомнить физику. На рисунке 1 она показана на примере стеклопакета. При проектировании остекления обычно рассматривают два вида излучения: видимый свет (длины волн от 380 нм до 780 нм) и солнечную энергию (длины волн от 300 нм до 2500 нм). При этом для каждого из них устанавливается три показателя: коэффициенты пропускания, отражения и поглощения. Сумма этих коэффициентов равна 1 для каждого из видов излучения. В большинстве строительных нормативов России и СНГ требования предъявляются в явном виде к пропусканию видимого света. В то же время, при использовании стекол с покрытиями или окрашенных в массе стекол необходимо учитывать их характеристики для солнеч-

ного излучения, поскольку они определяют возможность их эксплуатации в зданиях и сооружениях, – большое поглощение солнечной энергии может привести к разрушению стекол.

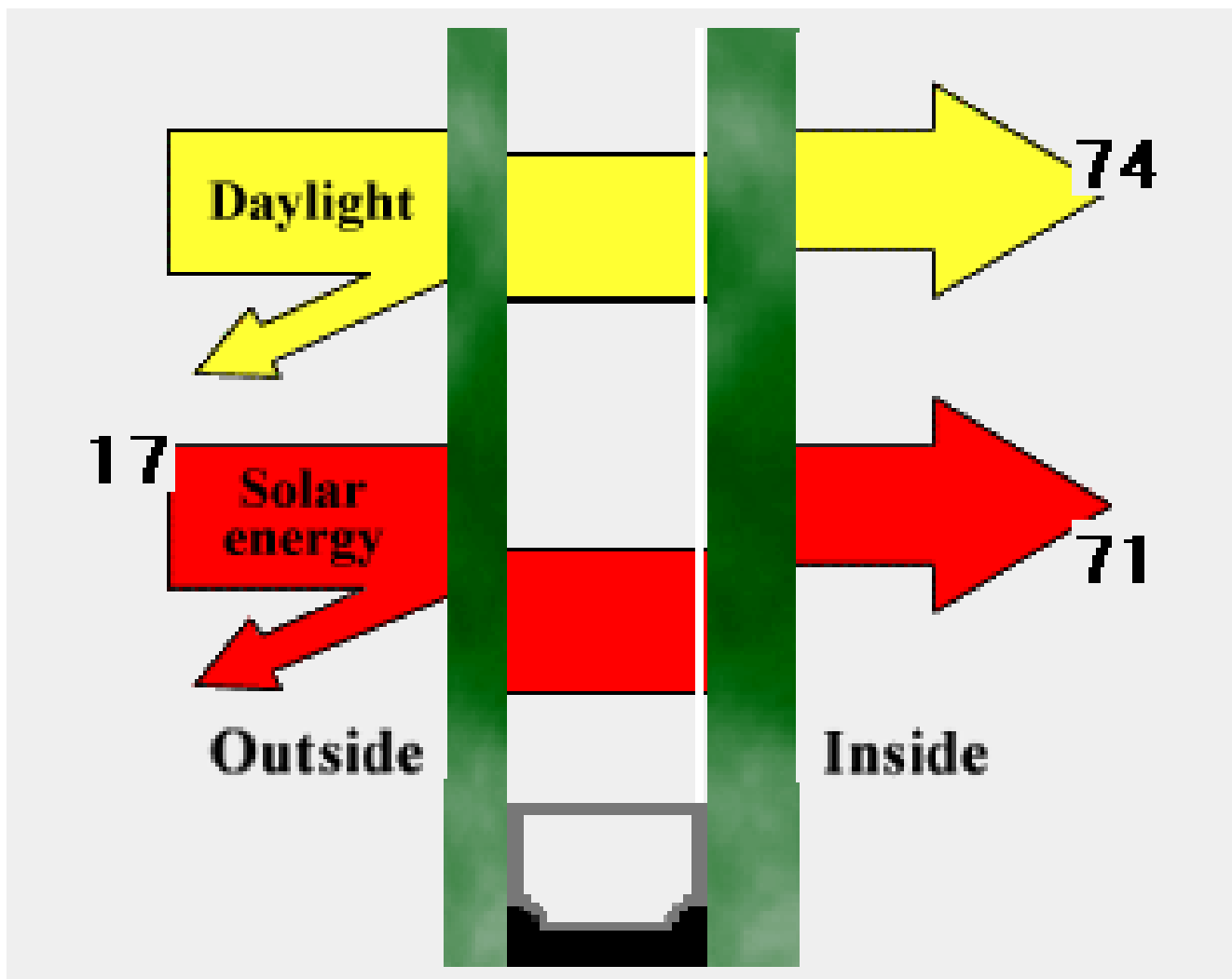


Рисунок 1. Пример стеклопакета

На рисунке 2 приведены спектры пропускания видимого света различными стеклами. На этом же рисунке приведена кривая весовых коэффициентов, которые используются при расчете интегрального коэффициента пропускания видимого света в соответствии со стандартом ИСО 9050. Из этой кривой следует, что спектральные коэффициенты пропускания на различных длинах волн входят в расчет с разными коэффициентами и наиболее важно пропускание на длинах волн близких к 550 нм. Из этого рисунка

видна большая разница в светопропускании различных стекол и тот факт, что любые покрытия на стеклах снижают коэффициент пропускания света.

Важно также отметить, что даже формально одинаковые листовые стекла обладают различными коэффициентами светопропускания. На рисунке 3 приведены примеры спектров пропускания света листовых стекол марки М<sub>1</sub> толщиной 4 мм различных стекольных заводов. На рисунке видна большая разница между ними. Рассмотрим, к чему она может приводить.

Коэффициент светопропускания остекления рассчитывается по формулам:

Для двойного остекления:

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)}{1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)} \quad (1)$$

Для тройного остекления:

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda)\tau_2(\lambda)\tau_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda)\rho_2(\lambda)] * [1 - \rho'_2(\lambda)\rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda)\rho'_1(\lambda)\rho_3(\lambda)} \quad (2)$$

где:  $\tau_1(\lambda)$  - спектральный коэффициент пропускания наружного листа;

$\tau_2(\lambda)$  - спектральный коэффициент пропускания среднего листа;

$\tau_3(\lambda)$  - спектральный коэффициент пропускания внутреннего листа;

$\rho_1(\lambda)$  - спектральный коэффициент отражения наружного листа, замеренный в направлении падающего излучения;

$\rho'_1(\lambda)$  - спектральный коэффициент отражения наружного листа, замеренный в направлении противоположном направлению падающего излучения;

$\rho_2(\lambda)$  - спектральный коэффициент отражения среднего листа, замеренный в направлении падающего излучения;

$\rho'_2(\lambda)$  - спектральный коэффициент отражения среднего листа, замеренный в направлении противоположном направлению падающего излучения;

$\rho_3(\lambda)$  - спектральный коэффициент отражения внутреннего листа, замеренный в направлении падающего излучения.

Для остекления с более чем тремя компонентами, соотношения аналогичные формулам 1-2 могут быть найдены при помощи мысленного разделения такого остекления на части, содержащие по два или три компонента.

В настоящее время, для удешевления остекления часто возникает желание применить вместо стекла марки М<sub>1</sub> стекло марки М<sub>4</sub>, купить стекло подешевле. К чему это может приводить в остеклении, показано в таблице на примере листовых стекол толщиной 4 мм различных марок.

Таблица

Марка стекла	Коэффициент пропускания света стеклом, %	Коэффициент пропускания света двухслойным остеклением, %	Коэффициент пропускания света трехслойным остеклением, %
М <sub>1</sub> (ГОСТ 111-90)	88	81,9	73,4
М <sub>4</sub> (ГОСТ 111-90)	85	72,7	62,5
Наилучшее испытанное в ИЦ "Стекло"	91,5	84,3	78,0
Наихудшее испытанное в ИЦ "Стекло"	82,5	68,5	57,1
Требования к светопропусканию стеклопакетов общестроительного назначения ГОСТ 24866-99		≥80	≥72
Требования к светопропусканию стеклопакетов энергосберегающих ГОСТ 24866-99		≥75	≥68

Как видно из этой таблицы, разница в коэффициентах пропускания света листовых стекол одной толщины может достигать 9 %, при двухслойном остеклении - 16 %, при трехслойном остеклении – 21 %. Как уже отмечалось, покрытия на стекле снижают его коэффициент пропускания света, поэтому для "удержания" общего коэффициента пропускания стекла с покрытием в допустимых пределах и обеспечения нормативных коэффициентов пропускания остекления, покрытия надо наносить на стекла с высоким коэффициентом пропускания.

Учитывая, что в формулах 1, 2 коэффициенты пропускания стекол в остеклении практически равноправны, в случае применения одного из стекол с низким коэффициентом пропускания, остальные стекла лучше использовать с высоким коэффициентом пропускания, чтобы общий коэффициент пропускания остекления находился в заданных пределах.

Необходимо учитывать, что, чем больше толщина стекла, тем меньше его коэффициент светопропускания, поэтому в стеклопакетах надо толщину каждого стекла подбирать исходя из требований к их прочности и, по возможности, использовать более тонкие стекла, чтобы повысить общий коэффициент пропускания остекления. Кстати, они и более дешевые.

Ситуация с пропусканием солнечной энергии аналогична описываемой с пропусканием видимого света. Примеры спектров пропускания солнечной энергии различных стекол приведены на рисунке 4. Необходимо отметить, что кривая весовых коэффициентов для расчета общего пропускания солнечной энергии имеет многомодальный характер, поэтому сложно выделить область, которая наиболее сильно влияет на общий коэффициент пропускания. На рисунке 5 приведены примеры спектров пропускания солнечной энергии для листовых прозрачных стекол различных стекольных заводов. Как и в случае с видимым светом, видна большая разница между спектрами этих стекол, поэтому все вышеприведенные рассуждения по подбору стекол справедливы и в данном случае.

При нанесении покрытий на стекло, особенно низкоэмиссионных, качество покрытий проще обеспечить при большей их толщине, что приводит к снижению коэффициента пропускания стекла. На рисунке 6 приведены примеры спектров отражения различных стекол, используемые при расчете коэффициента тепловой эмиссии (чем больше коэффициент отражения, тем меньше коэффициент эмиссии). Нетрудно заметить, сравнивая этот рисунок с рисунком 4, указанную зависимость. Поэтому для нанесения низкоэмиссионных покрытий необходимо использовать стекла с высоким коэффициентом пропускания света.

В заключение, можно дать следующую рекомендацию: при проектировании остекления использовать стекла с известными оптическими характеристиками и подбирать их комбинации с помощью методов математического моделирования, чтобы удов-

летворить пожелания заказчиков и требования нормативных документов. Необходимо помнить, что штрафные санкции и доброе имя стоят значительно дороже, чем разница в стоимости качественного и некачественного стекла.

*2000*

## Светопропускание

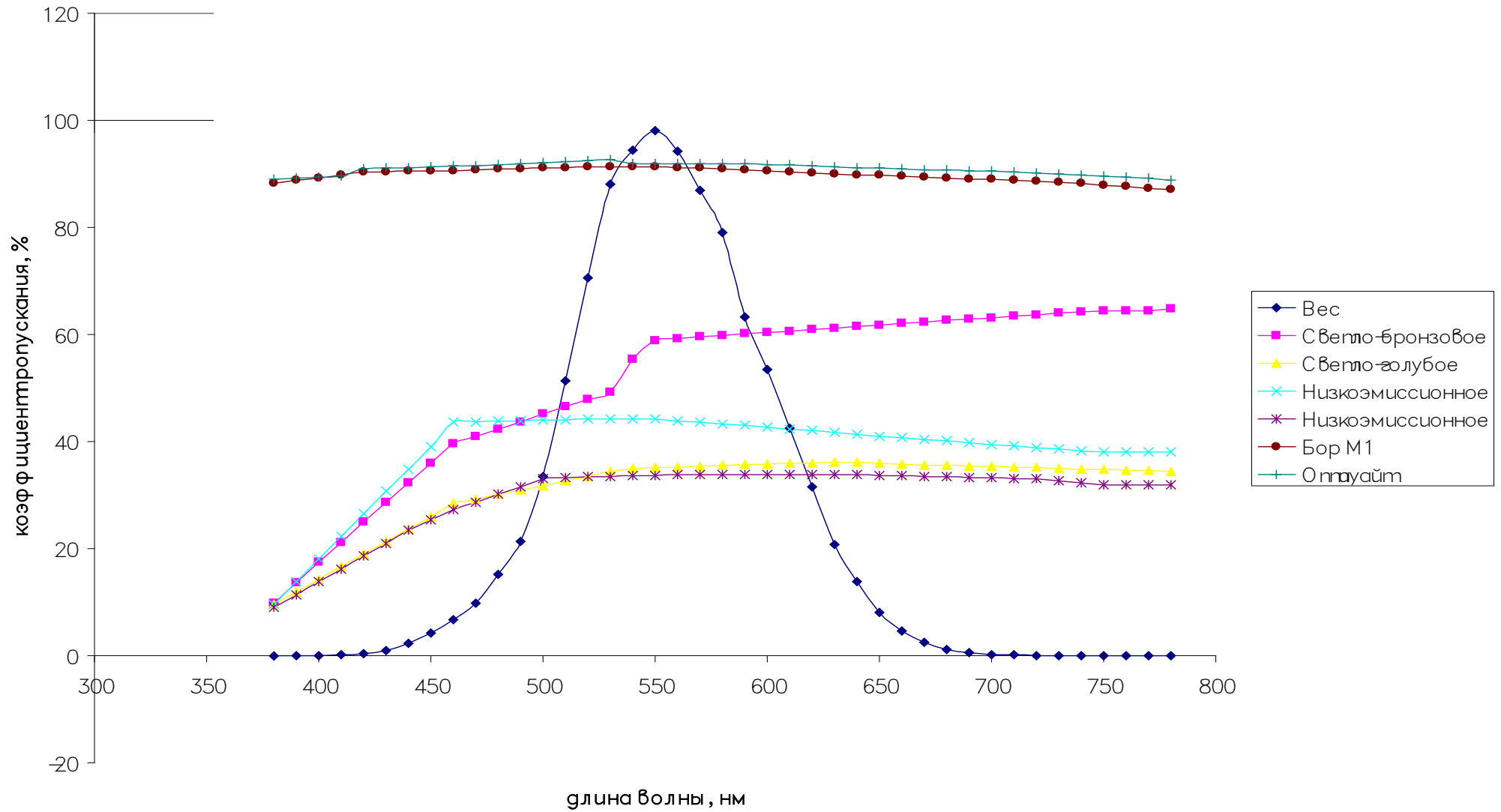


Рисунок 2. Примеры спектров пропускания листовых стекол.

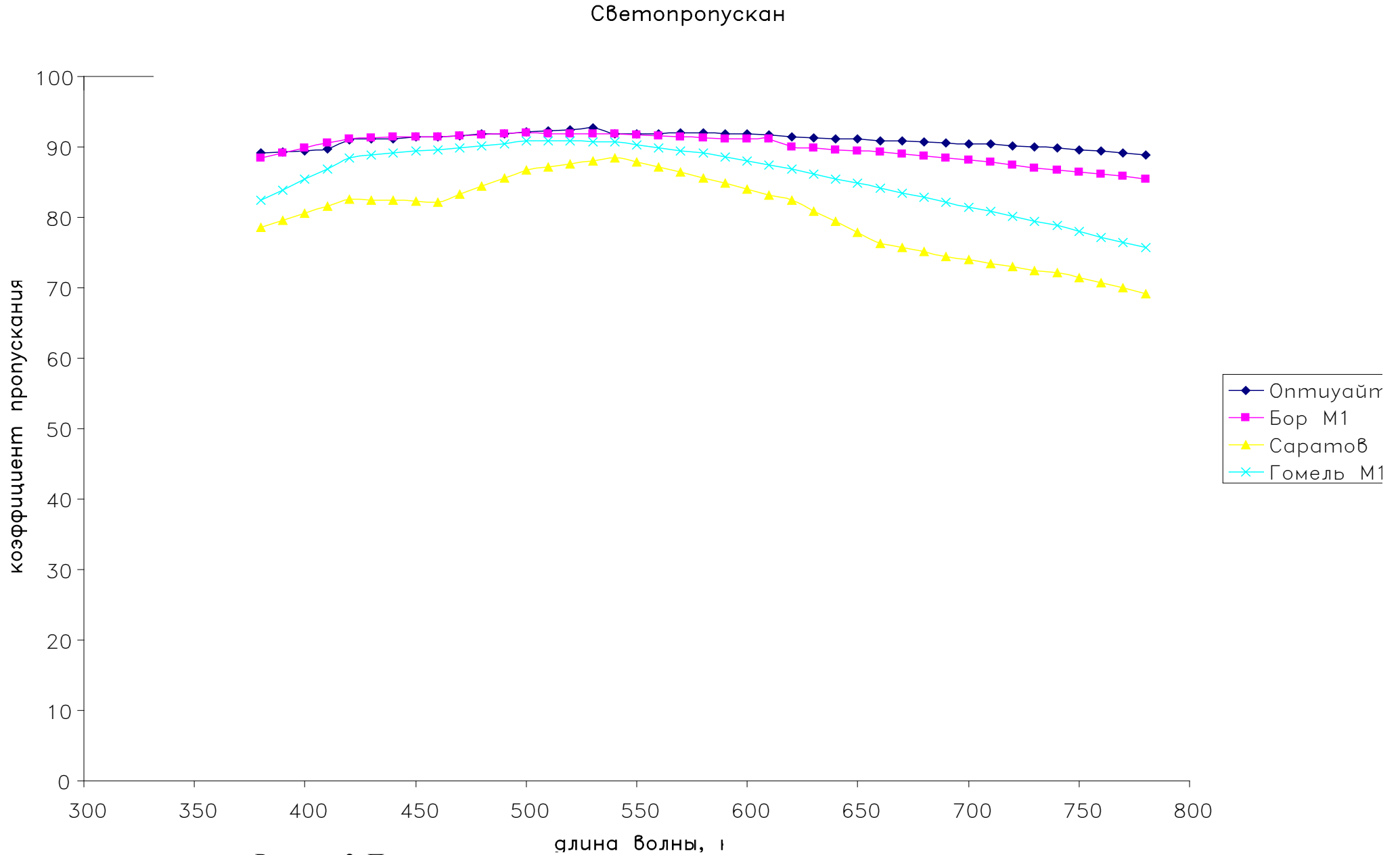


Рисунок 3. Примеры спектров пропускания листовых стекол различных стекольных заводов



### Пропускание солнечного излучения

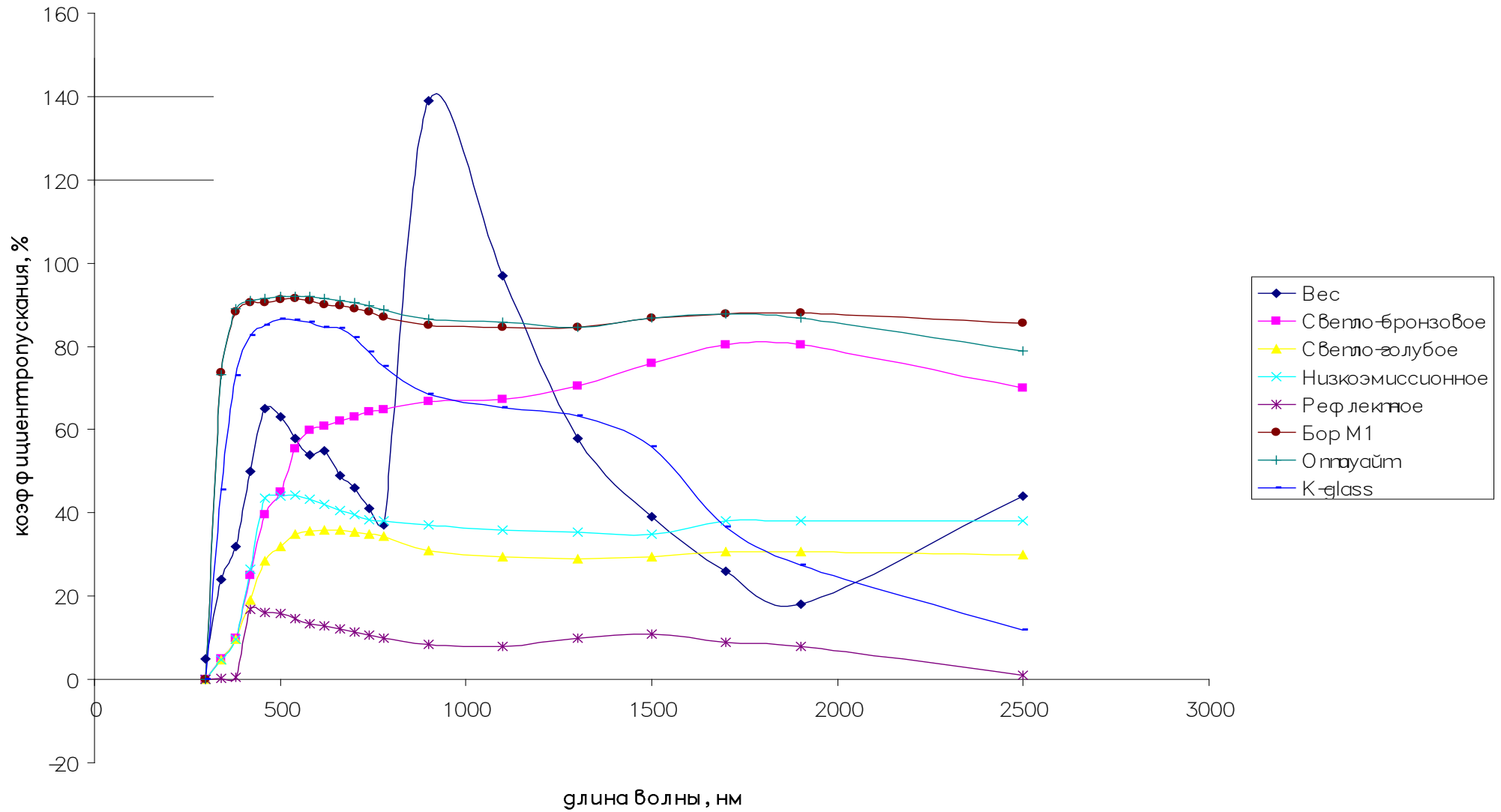


Рисунок 4. Примеры спектров пропускания солнечной энергии различных стекол

## Пропускание солнечного излучения

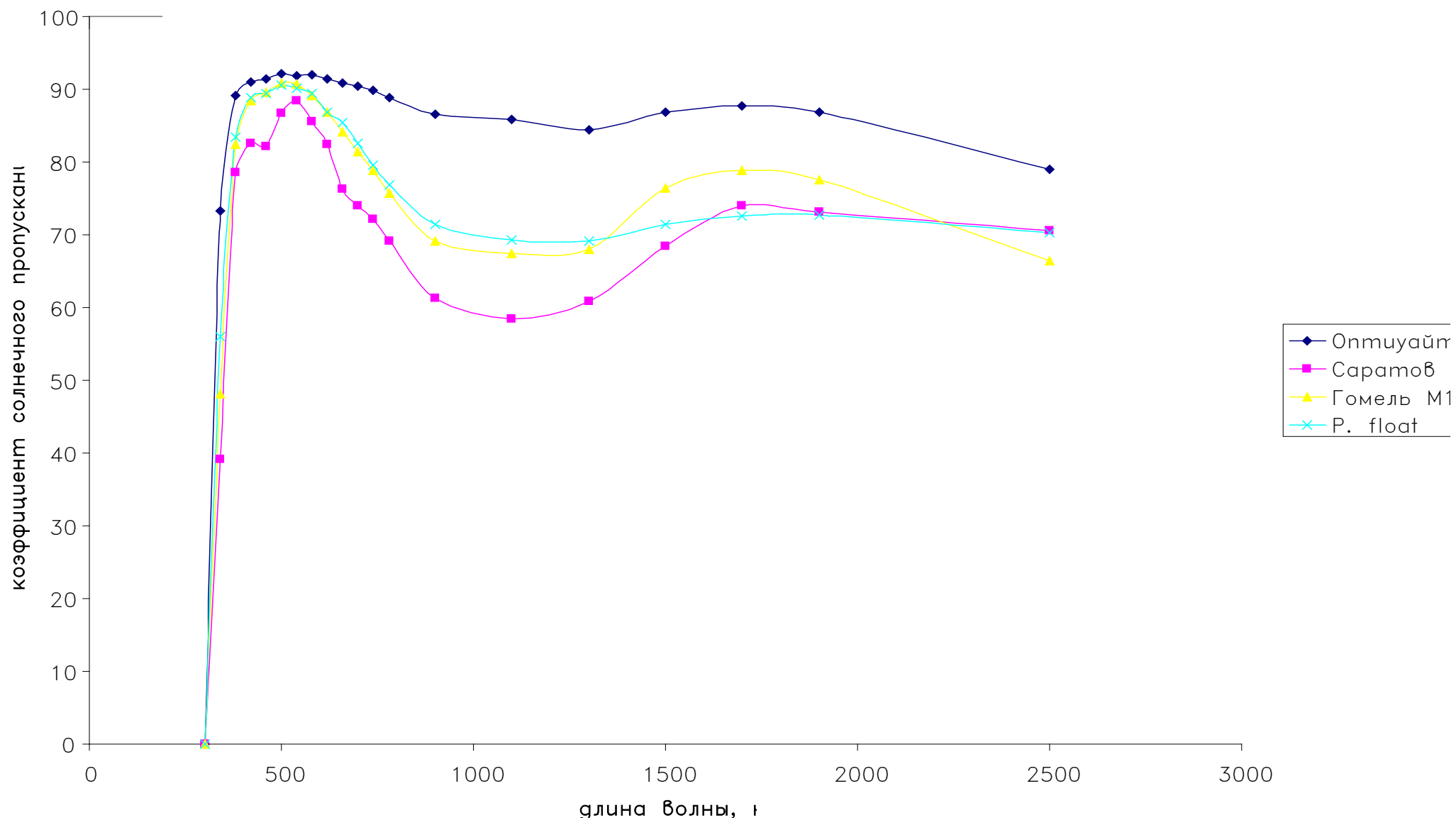


Рисунок 5. Примеры спектров пропускания солнечной энергии листовых стекол разных заводов

## Коэффициент отражения в далы

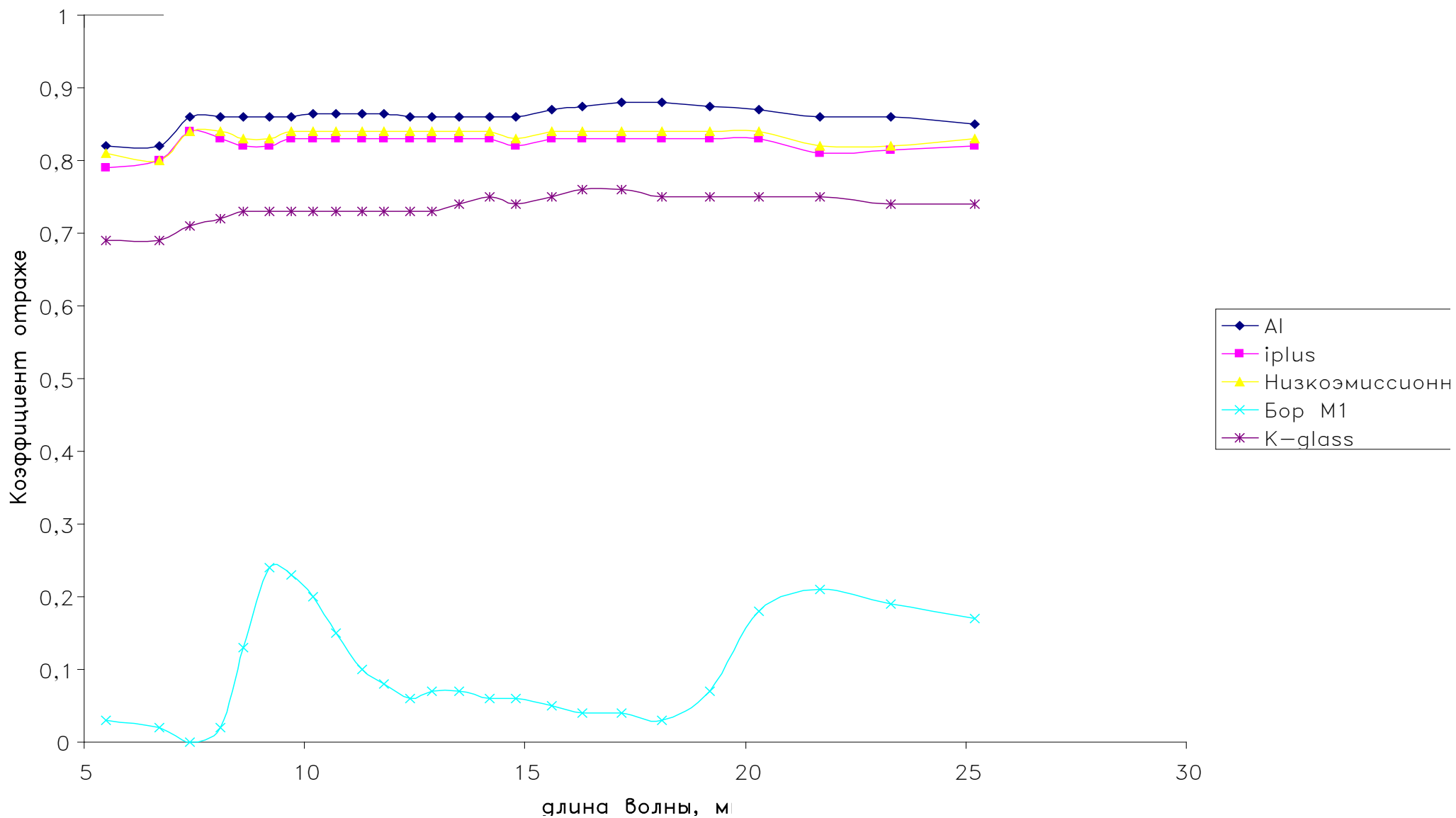


Рисунок 6. Примеры спектров отражения для определения коэффициента тепловой эмиссии