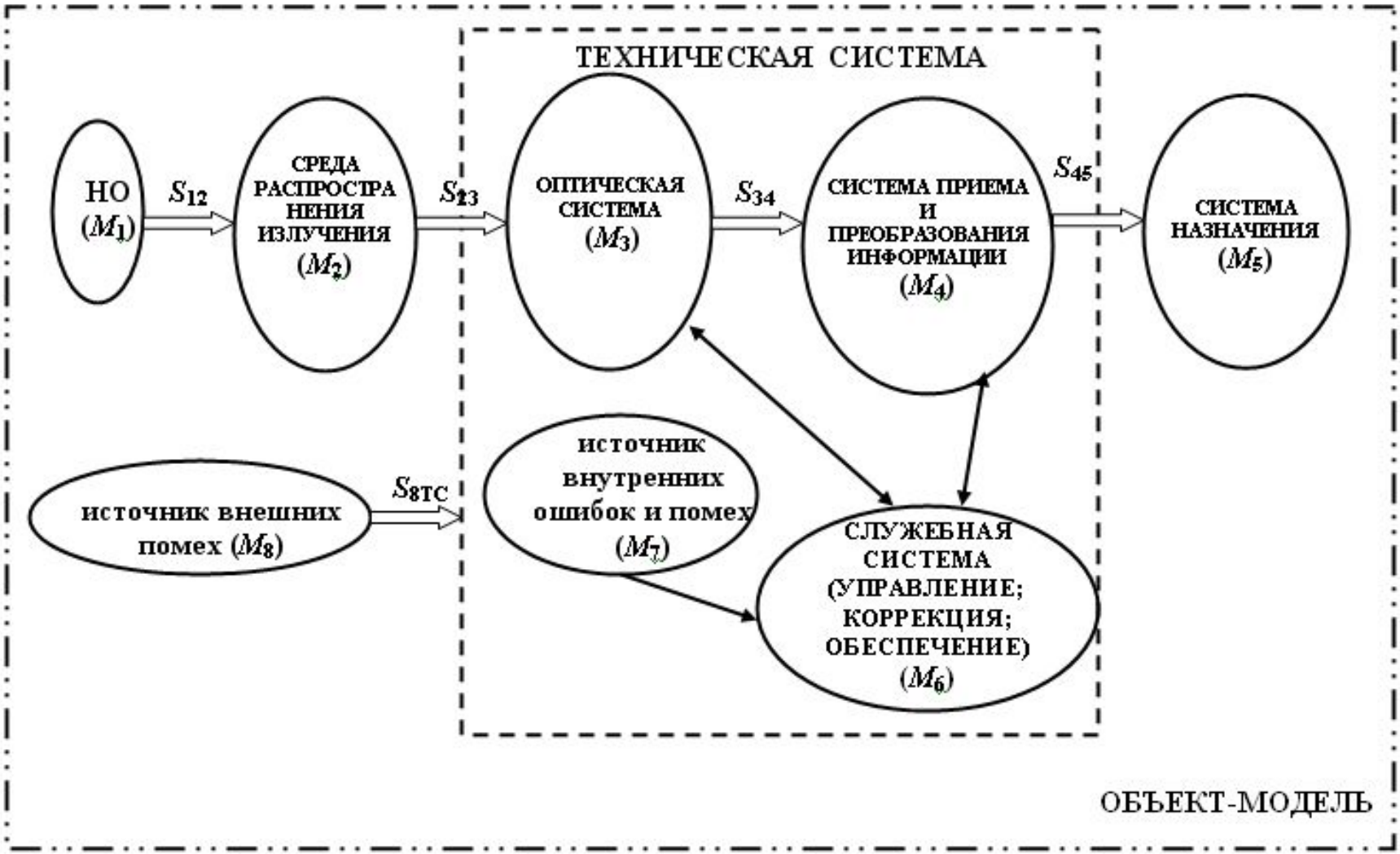
Лекция №3

АТМОСФЕРА
(оптико-физические параметры)


ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
НО
(M_1)
S_{12}
СРЕДА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
(M_2)
S_{23}
ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
(M_3)
S_{34}
СИСТЕМА ПРИЕМА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ
(M_4)
S_{45}
СИСТЕМА НАЗНАЧЕНИЯ
(M_5)
источник внешних помех (M_8)
$S_{8ТС}$
источник внутренних ошибок и помех
(M_7)
СЛУЖЕБНАЯ СИСТЕМА (УПРАВЛЕНИЕ; КОРРЕКЦИЯ; ОБЕСПЕЧЕНИЕ)
(M_6)
ОБЪЕКТ-МОДЕЛЬ

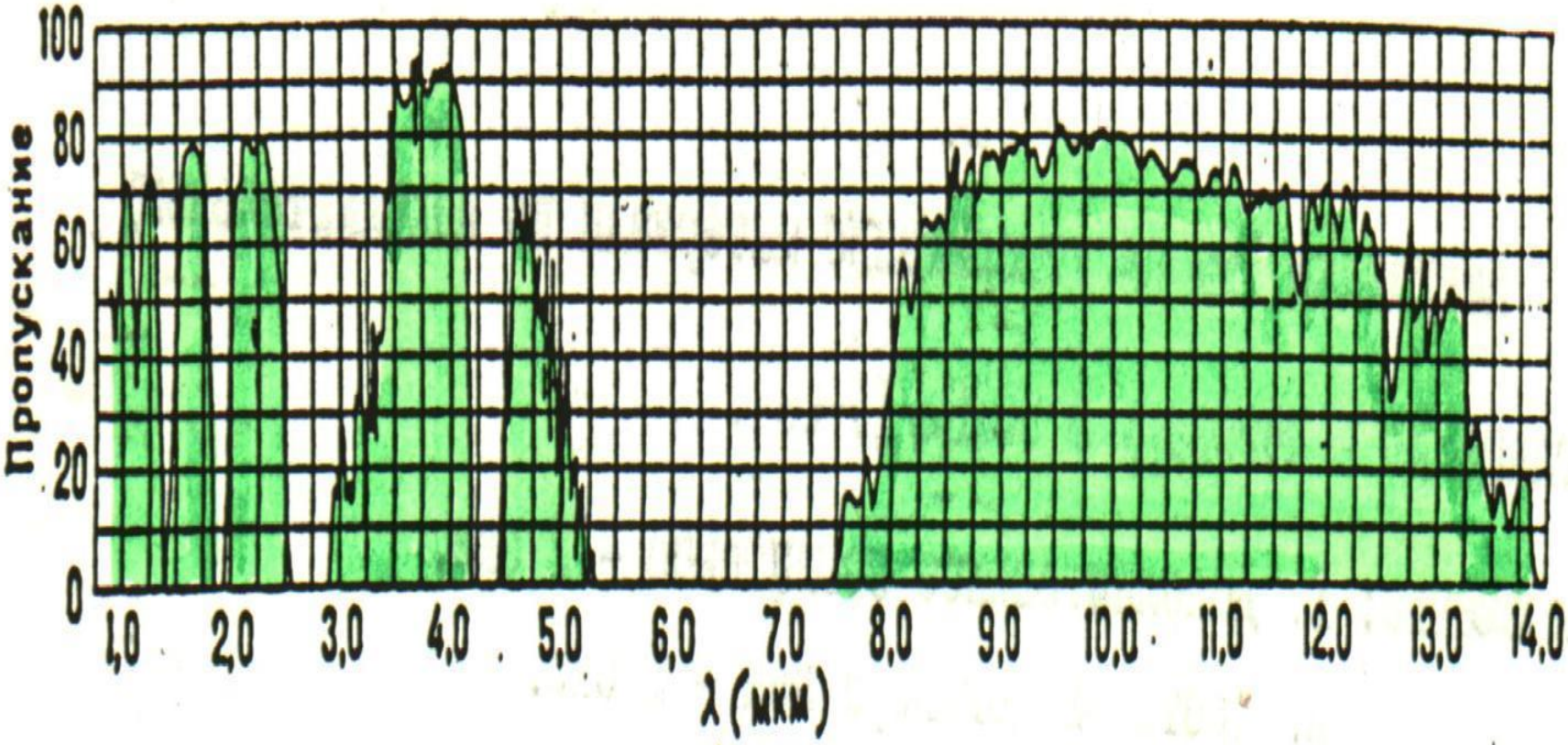
Атмосфера представляет собой механическую смесь газов, паров и мельчайших твердых и жидких частиц, находящихся во взвешенном состоянии. В ней всегда присутствует пыль, дым, капельки воды, кристаллики льда и т.п. (такая смесь называется аэрозолем). На распространение оптического излучения, в основном, влияют: вода в газовой и жидкой фазах, углекислый газ, озон, а также аэрозоль. Количество этих компонентов различно на разных высотах, в разных географических районах и зависит от метеоусловий. Наиболее сильное влияние атмосферы на распространение оптического излучения оказывает нижний слой атмосферы, в котором содержится большое количество воды, пыли и т.д.

Воздействие атмосферы сводится к ослаблению энергии излучения, флуктуациям амплитуды и фазы волны, изменениям поляризации и т.д., а также ухудшению углового и временного разрешения сигналов

Сложность и многообразие процесса распространения излучения в атмосфере исключают возможность создания подробного теоретического описания данного явления и приводят к необходимости использования наиболее общих положений и законов теории в сочетании с известными экспериментальными данными для определения количественных характеристик ослабления лучистой энергии в атмосфере.

Ослабление излучения атмосферой происходит в общем случае как из-за поглощения, так и рассеяния энергии излучения. Поглощение энергии происходит на молекулах газа только на длинах волн, равных или кратных резонансным длинам волн колебательных движений молекул. Следовательно, поглощение является селективным, приходящимся на сравнительно узкие участки спектра- полосы поглощения молекул газов, входящих в состав атмосферы. Поглощение оптического излучения определяется показателем поглощения $\sigma_п$ (км$^{-1}$), характеризующим поглощение излучения на единице пути распространения.

Рассеянию подвержено излучение на всех длинах волн. Оно связано с неоднородностью оптических свойств компонент атмосферы и может быть разделено на два типа: молекулярное (релеевское) и аэрозольное. Молекулярное рассеяние происходит на частицах атмосферы, размер которых меньше длины волны излучения, а аэрозольное – на частицах, размеры которых намного превышают длину волны излучения.



Кривая пропускания атмосферы в области 0,75—14 мкм. «Окна» прозрачности: 2,0—2,5 мкм; 3,2—4,2 мкм; 4,5—5,2 мкм, 8,0 — 13,5 мкм. Полосы поглощения с максимумами при $\lambda=0{,}93$; 1,13; 1,40; 1,87; 2,74 мкм принадлежат парам воды; при $\lambda=2{,}7$ и 4,26 мкм — углекислому газу и при $\lambda\approx 9{,}5$ мкм—озону.

Источник энергии	Энергии	
	ватты	относительно Солнца
Солнце	$1,76 \cdot 10^{17}$	1
Луна (полнолуние)	$3,09 \cdot 10^{12}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$
Молнии	$1,60 \cdot 10^{12}$	$9,09 \cdot 10^{-6}$
Свет звезд	$2,61 \cdot 10^{10}$	$1,48 \cdot 10^{-7}$
Яркие полярные сияния	$2,53 \cdot 10^{10}$	$1,44 \cdot 10^{-7}$
Космические лучи	$1,63 \cdot 10^{10}$	$9,26 \cdot 10^{-8}$
Метеоры	$1,44 \cdot 10^{10}$	$8,18 \cdot 10^{-8}$
Свечение ночного неба	$1,12 \cdot 10^{10}$	$6,37 \cdot 10^{-8}$

Рассеяние определяется двумя параметрами: показателем рассеяния σ_P(км$^{-1}$) и индикатрисой рассеяния $\beta(\phi)$. Индикатриса рассеяния характеризует относительное распределение энергии в зависимости от углового направления. При молекулярном рассеянии индикатриса рассеяния симметрична относительно первичного луча и в перпендикулярном ему направлении. Индикатриса имеет максимумы в направлении распространения луча (ϕ=0) и в противоположном направлении ($\phi=\pi$); в обратном направлении отбрасывается примерно столько же энергии, сколько проходит вперед. С увеличением размеров рассеивающих частиц индикатриса рассеяния вытягивается по направлению падения луча.

При этом действие каждой составляющей общего ослабления излучения атмосферой может быть описано законом Бугера-Бера:

$$\tau_{a,L_г}(\lambda) = e^{-\alpha(\lambda)D_{гор}} = e^{\lambda D_{гор}}$$

$\tau_{a,L_г}(\lambda)$ - спектральный коэффициент пропускания атмосферы на горизонтальной трассе протяженностью $D_{гор}$;

$e^{-\alpha(\lambda)}$ - спектральный коэффициент прозрачности атмосферы на метровой длине;

$\alpha(\lambda)$ - спектральный показатель ослабления атмосферы, равный: $\alpha(\lambda) = \sigma_n(\lambda)+\sigma_p(\lambda)$

Релеевское рассеяние оптического сигнала в атмосфере

Энергетические потери оптического сигнала из-за аэрозольного и молекулярного (релеевского) рассеяния являются одним из главных факторов, определяющих искажение сигнала. Из теории молекулярного (релеевского) рассеяния света следует следующее выражение для коэффициента рассеяния в газах:

$$\sigma_p(\lambda) = \frac{8\pi^3(n^2-1)}{3N\lambda^4} \cdot \frac{6+3\delta}{6-7\delta}$$

N-число молекул в единице объема;
n-показатель преломления среды;
λ- длина волны излучения;
δ- фактор деполяризации рассеянного излучения, равный 0,035.

λ, мкм	$\sigma_p(\lambda)$, км$^{-1}$	τ_p	λ, мкм	$\sigma_p(\lambda)$, км$^{-1}$	τ_p
0.30	$1.446 \cdot 10^{-1}$	1.2237	0.65	$5.893 \cdot 10^{-3}$	0.0499
0.32	$1.098 \cdot 10^{-1}$	0.9290	0.70	$0.364 \cdot 10^{-3}$	0.0369
0.34	$8.494 \cdot 10^{-2}$	0.7188	0.80	$2.545 \cdot 10^{-3}$	0.0215
0.36	$6.680 \cdot 10^{-2}$	0.5653	0.90	$1.583 \cdot 10^{-3}$	0.0134
0.38	$5.237 \cdot 10^{-2}$	0.4508	1.06	$8.458 \cdot 10^{-4}$	0.0072
0.40	$4.303 \cdot 10^{-2}$	0.3641	1.26	$4.076 \cdot 10^{-4}$	0.0034
0.45	$0.644 \cdot 10^{-2}$	0.2238	1.67	$1.327 \cdot 10^{-4}$	0.0011
0.50	$1.716 \cdot 10^{-2}$	0.1452	2.17	$4.586 \cdot 10^{-5}$	0.0004
0.55	$0.162 \cdot 10^{-2}$	0.0984	3.50	$6.830 \cdot 10^{-6}$	0.0001
0.60	$8.157 \cdot 10^{-3}$	0.0690	4.00	$4.002 \cdot 10^{-6}$	0.0000

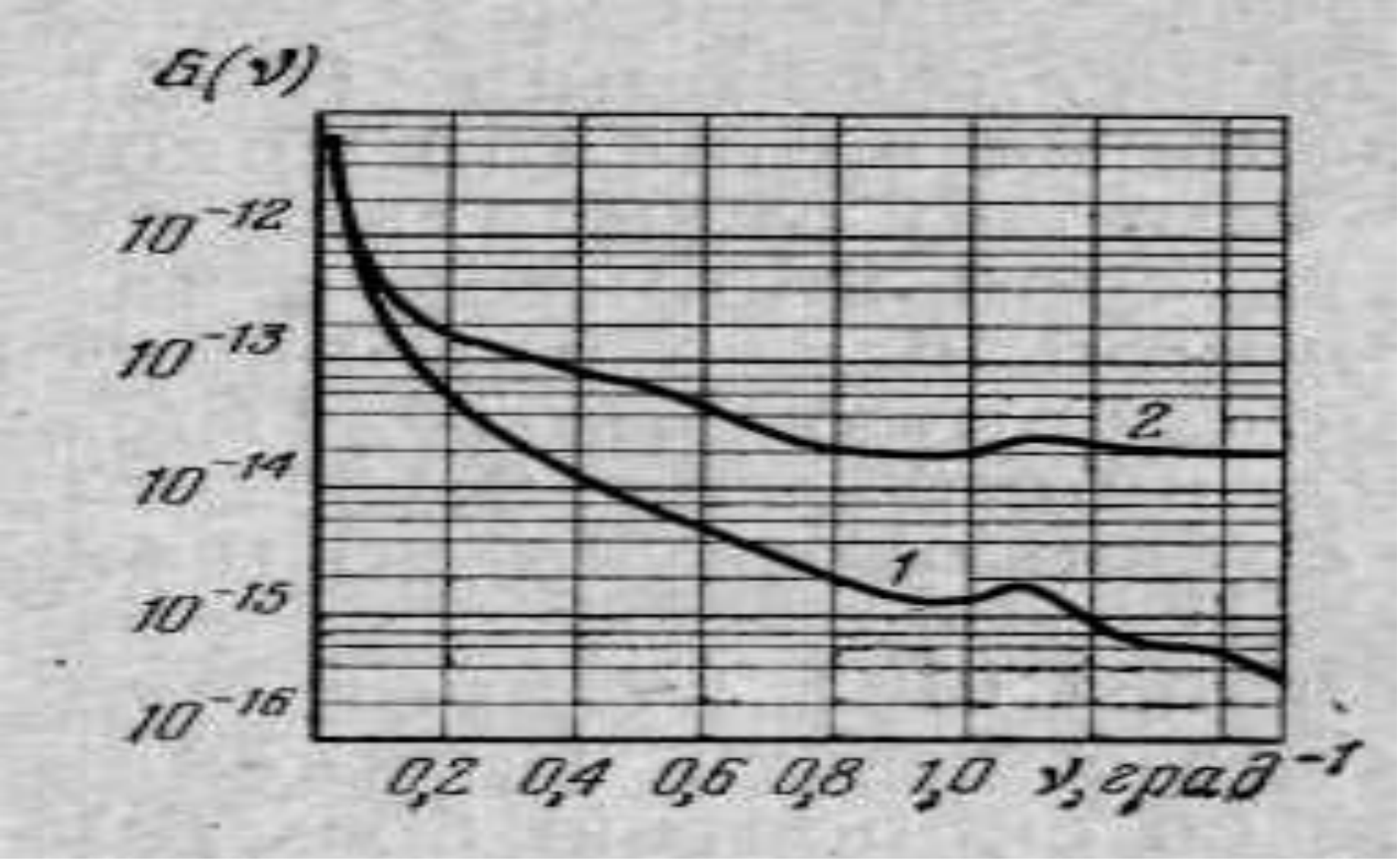
Составляющие атмосферы	Средняя объемная концентрация в тропосфере, %	Примечание
N_2	78.084	В верхней ионосфере диссоциирует; на более низких уровнях перемешан.
O_2	20.946	Диссоциирует выше 95 км; на более низких уровнях перемешан.
Ar	0.934	Перемешан до высоты 110 км; выше–диффузионное разделение.
CO_2	$3.3 \cdot 10^{-2}$	Испытывает незначительные изменения; перемешан до 100 км; выше–диссоциирует
Ne	$1.818 \cdot 10^{-3}$	Перемешан до 100км; выше–диффузионное разделение.
He	$5.24 \cdot 10^{-4}$	Перемешан до 110 км; выше–диффузионное разделение.
CH_4	$1.6 \cdot 10^{-4}$	В тропосфере перемешан; в стратосфере окисляется; в мезосфере диссоциирует.
Kr	$1.14 \cdot 10^{-4}$	Перемешан до 100 км; выше–диффузионное разделение.
H_2	$5 \cdot 10^{-5}$	В тропосфере и стратосфере перемешан, выше диссоциирует.
N_2O	$3.5 \cdot 10^{-5}$	У поверхности земли испытывает незначительные изменения; постепенно диссоциирует в стратосфере и мезосфере.
CO	$7 \cdot 10^{-6}$	Продукт окисления, содержание изменчиво.
O_3	10^{-6}	Испытывает сильные изменения, имеет фотохимическое происхождение.
NO_2 NO	от 0 до $2 \cdot 10^{-6}$	В тропосфере имеет промышленное происхождение; в мезосфере и ионосфере–фотохимической природы.

Природа фоновых помех	Максимальная средняя яркость фона, Вт/см$^2 \cdot$ ср $\cdot$ мкм	
	$\lambda = 1$ мкм	$\lambda = 10$ мкм
Отражение солнечного излучения водной поверхностью	10^{-1}	10^{-5}
Рассеяние солнечного излучения атмосферой (яркость безоблачного неба)	10^{-2}	10^{-7}
Рассеяние солнечного излучения облаками (яркость облачного неба)	10^{-5}	10^{-7}
Тепловое излучение атмосферы	10^{-7}	10^{-3}
Свечение атмосферы	10^{-10}	10^{-8}

$$
\begin{cases}
I = I_0 \exp(-\tau) \\
\tau = \int_0^L \alpha(l)dl \\
\alpha(s) = \alpha_{ПГ} + \alpha_{РМ} + \alpha_{Ра} + \alpha_{Па} \\
\alpha_{ПГ} = \sum_i C_i(\lambda)\omega_i \\
\omega_i = \omega_{oi}\left[\left(P/P_0\right) \times \sqrt{T/T_0}\right]^n \\
\alpha_{РМ} = \left[8\pi^2\left(n^2-1\right)\left(6+3\sigma\right)\right] / \left[S\lambda^4 N\left(6-7\sigma\right)\right]
\end{cases}
$$

$\alpha_{пг}$ – показатель молекулярного поглощения атмосферных газов; $\alpha_{рм}$,$\alpha_{ра}$ – показатели молекулярного и аэрозольного рассеяния; $\alpha_{па}$ – показатель аэрозольного поглощения; $C_i(\lambda)$ - абсорбционный коэффициент *i*–го компонента атмосферы, зависящий от длины волны излучения (λ) и определяемый обычно экспериментально; ω_i - эффективное количество i–го компонента атмосферы; P_0 = 1 атм.; T_0 = 273 К; ω_{oi} – концентрация i–го (поглощающего) компонента атмосферы; n – некоторый, определяемый типом компонента, параметр (так например, n=0,9 для H_2O; n=0,4 для O_3; n=0,75 для CO_2); N - концентрация частиц; n - действительный показатель преломления среды; σ - фактор деполяризации (σ~0,035); Рассеяние излучения в атмосфере обусловлено дифракцией падающего излучения на частицах вещества. При этом рассеивающими фракциями являются атомы и молекулы, а также частицы аэрозоля (пыльца деревьев, сажа, туман, продукты выветривания). При длине волны электромагнитного излучения до (2,0…2,5) мкм молекулярное рассеяние преобладает над аэрозольным рассеянием, обычно называемого рассеянием Ми.

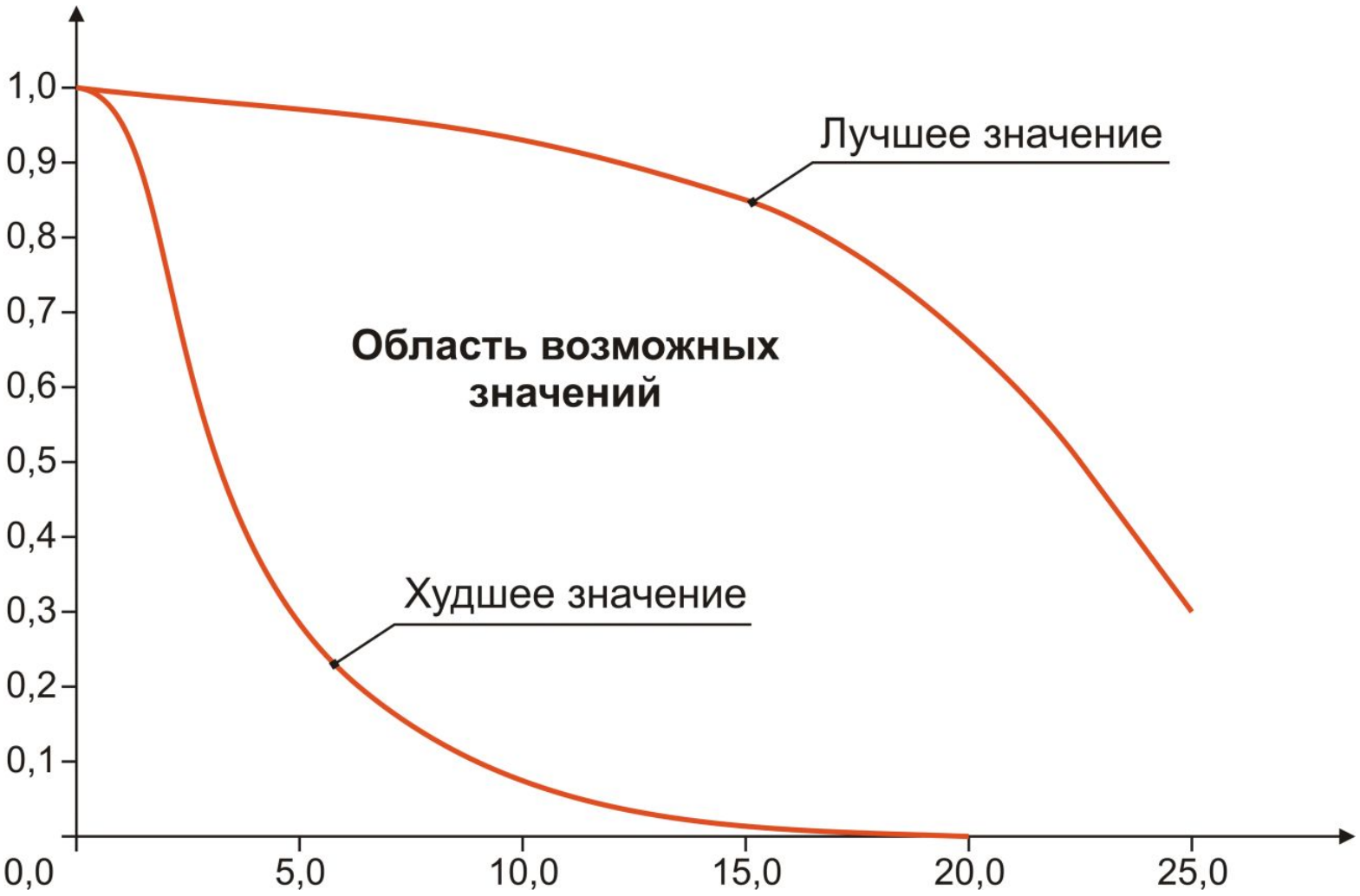
Формула Бугера-Ламберта и Рэлея (рассеяние)		
$\begin{cases} \tau = \exp[-\mu L] \\ \mu = \rho + \alpha \\ \tau = F_e / F_{e0} \\ \rho = \dfrac{8\pi^3 (n^2 - 1)^2}{3N\lambda^4} \end{cases}$	α-	коэффициент поглощения;
	ρ-	коэффициент рассеяния;
	μ-	показатель ослабления;
	N-	число частиц в 1см^3;
	n =1,00028 показатель преломления воздуха для линии D	
	F_e–	прошедший поток;
	F_{e0}–	падающий поток.

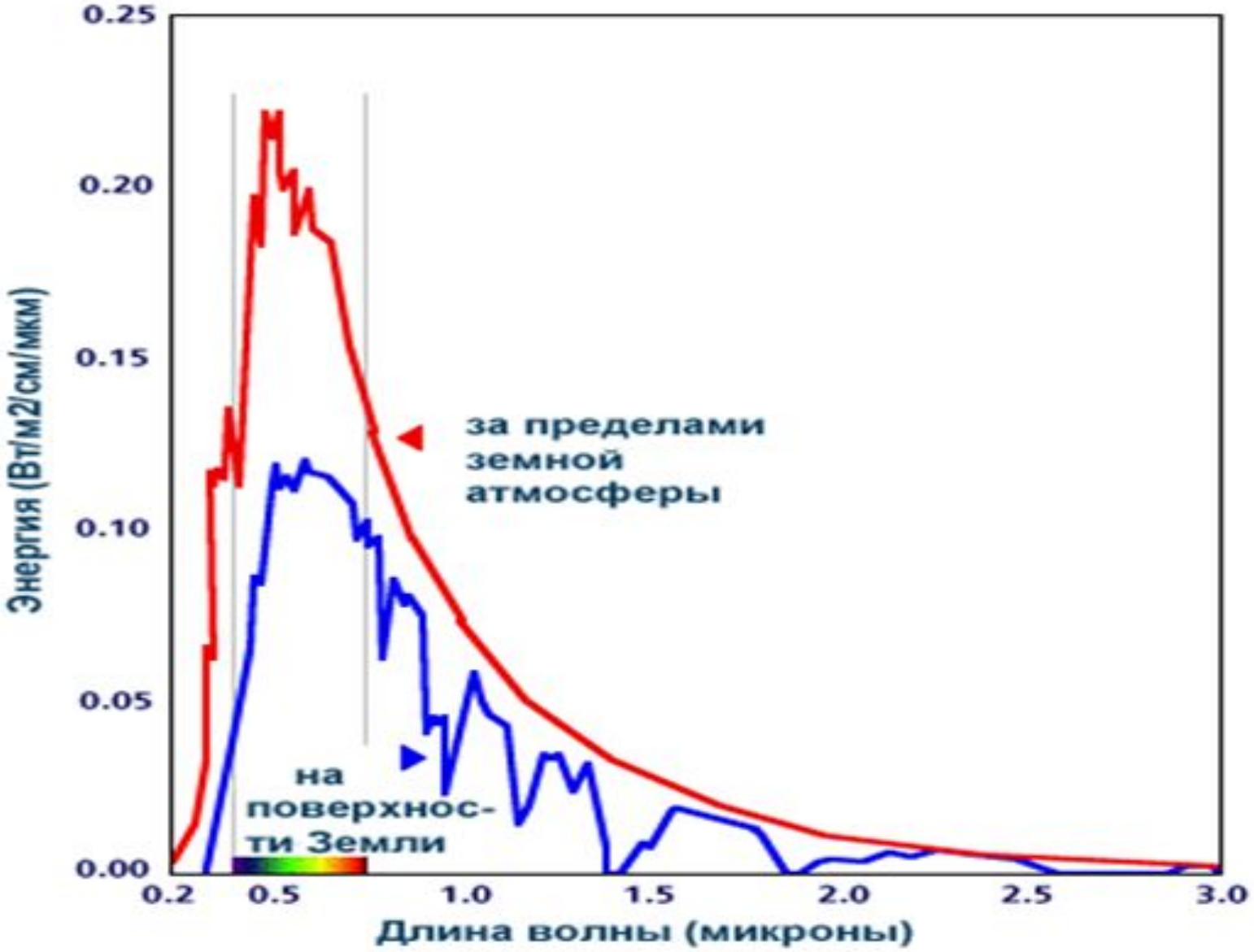


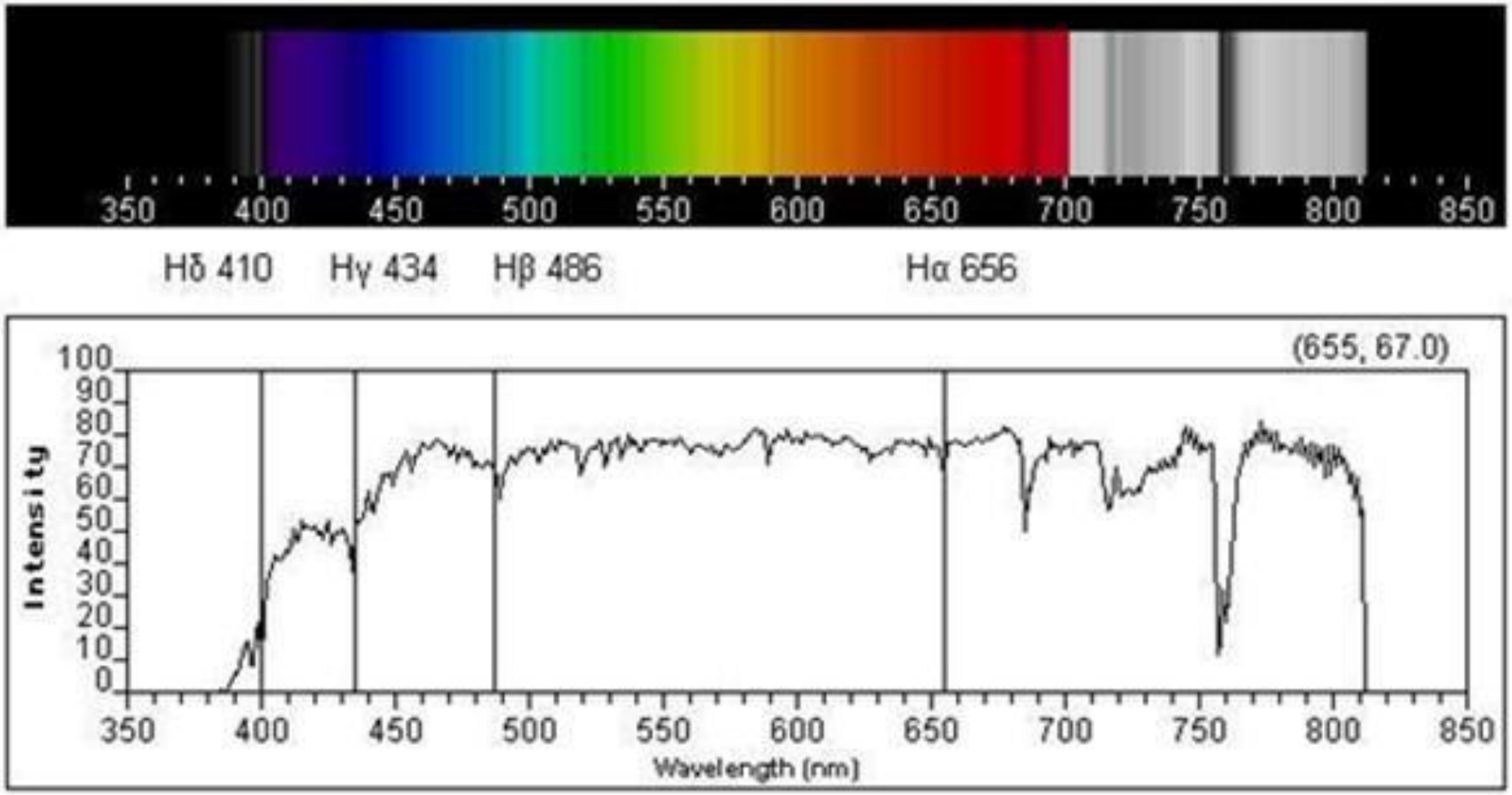
Спектр пространственных частот G(v) (мкВт/см2·ср2·град) ясного неба в областях 1,8…2,5 мкм (1) и 4,5…5,2 мкм (2).

Кодовый N°	Характеристика видимости	Условия наблюдения	МДВ. км.
0		очень плотный туман	менее 0.05
1	очень плохая	густой туман, очень плотный снег	0.05 - 0.2
2		обычный туман, густой снег	0.2 - 0.5
3	плохая	слабый туман, умеренные снег, сильная дымка	0.5 - 1
4		умеренный снег, очень сильный дождь, умеренная дымка	1 - 2
5	средняя	слабый снег, сильный дождь, слабая дымка, слабый туман	2 - 4
6	средняя	умеренный дождь, очень слабый снег, легкая дымка	4 - 10
7	хорошая	без осадков, очень слабый дождь, ясно	10 - 20
8	очень хорошая	без осадков, очень ясно	20 - 50
9	исключительная	совершенно ясно	более 50
10		совершенно чистый воздух без пыли и аэрозолей	277

*


1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
5,0
10,0
15,0
20,0
25,0
Лучшее значение
Область возможных значений
Худшее значение


0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Энергия (Вт/м2/см/мкм)
за пределами
земной
атмосферы
на
поверхнос-
ти Земли
0.2
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Длина волны (микроны)


350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
Hδ 410
Hγ 434
Hβ 486
Hα 656
(655, 67.0)
Intensity
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Wavelength (nm)