

Инфракрасное излучение в энергетике атмосферы.

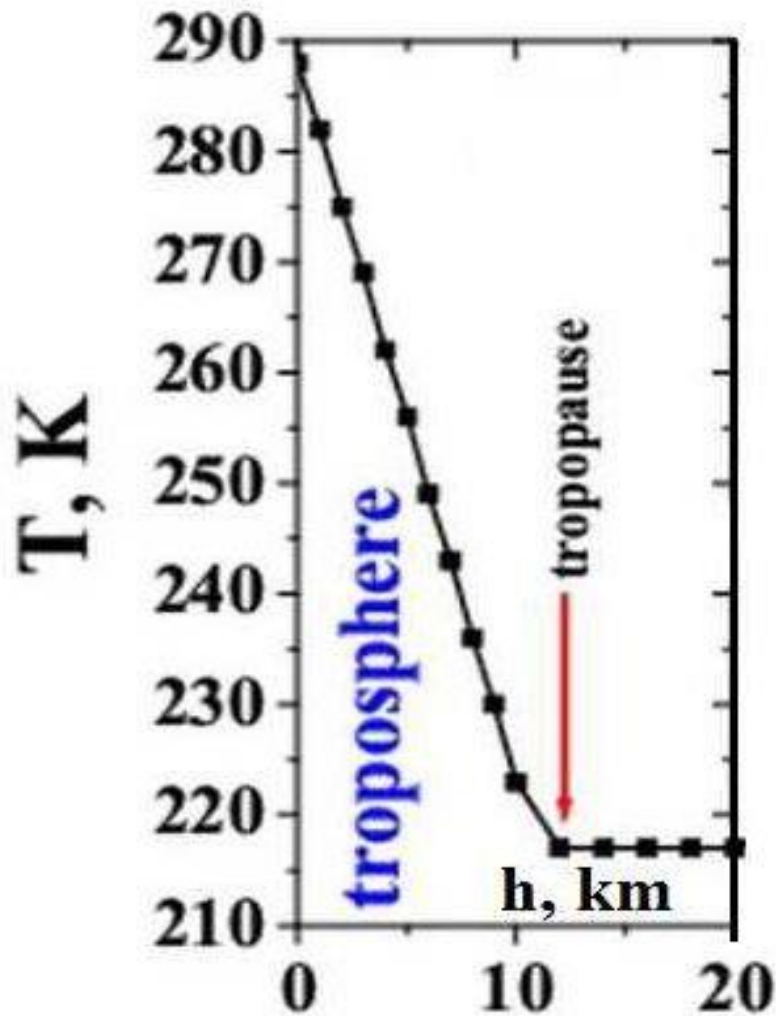
Б.М.Смирнов

ОИВТ РАН

Содержание

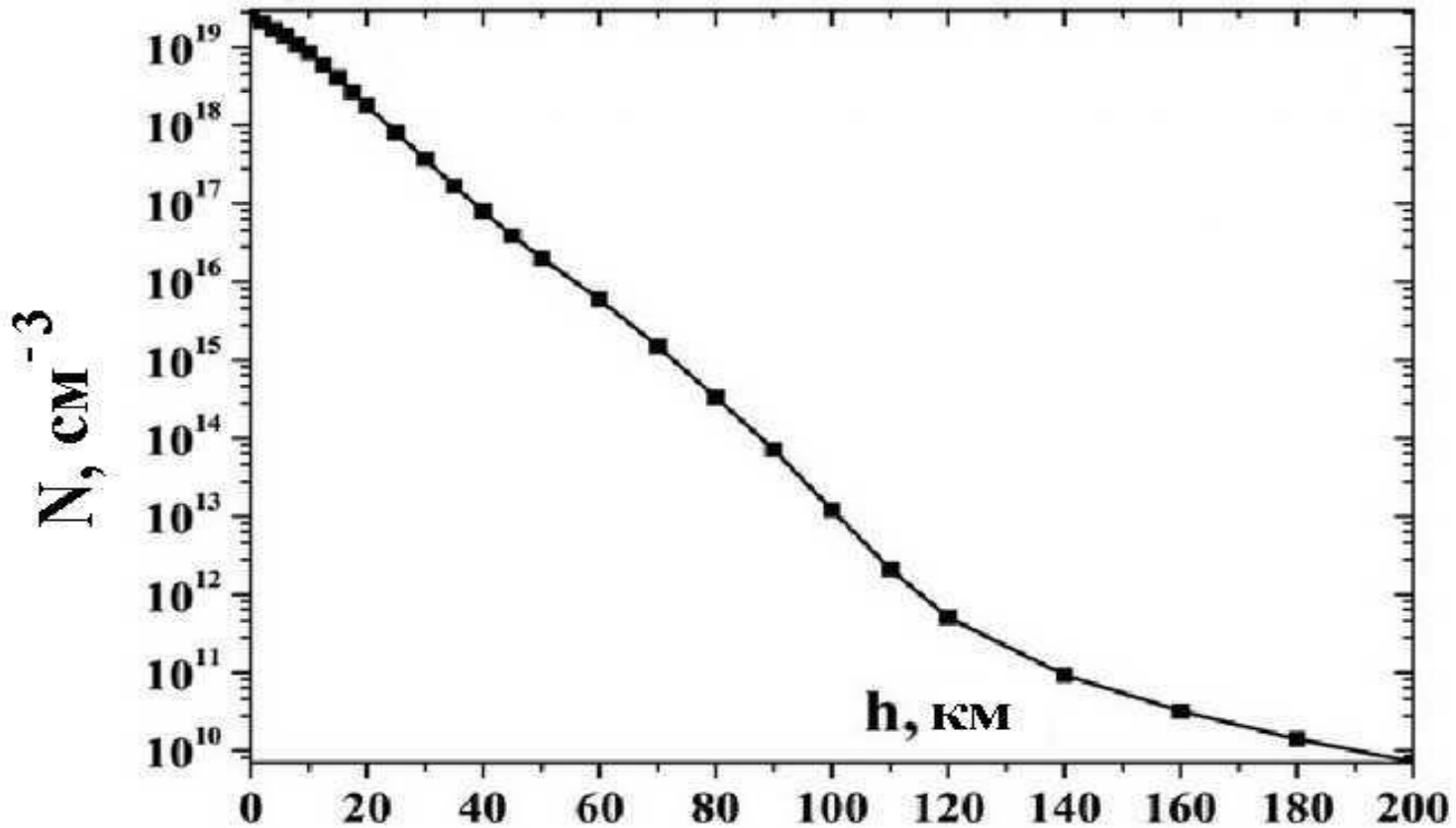
- 1. Состав и общие свойства атмосферы.**
- 2. Тепловой режим и энергетика атмосферы.**
- 3. Эмиссия плоского газового слоя**
- 4. Спектроскопия атмосферы и HITRAN банк.**
- 5. Парниковый эффект в атмосфере Земли.**
- 6. Удвоение концентрации углекислого газа в парниковом эффекте.**

Температура тропосферы



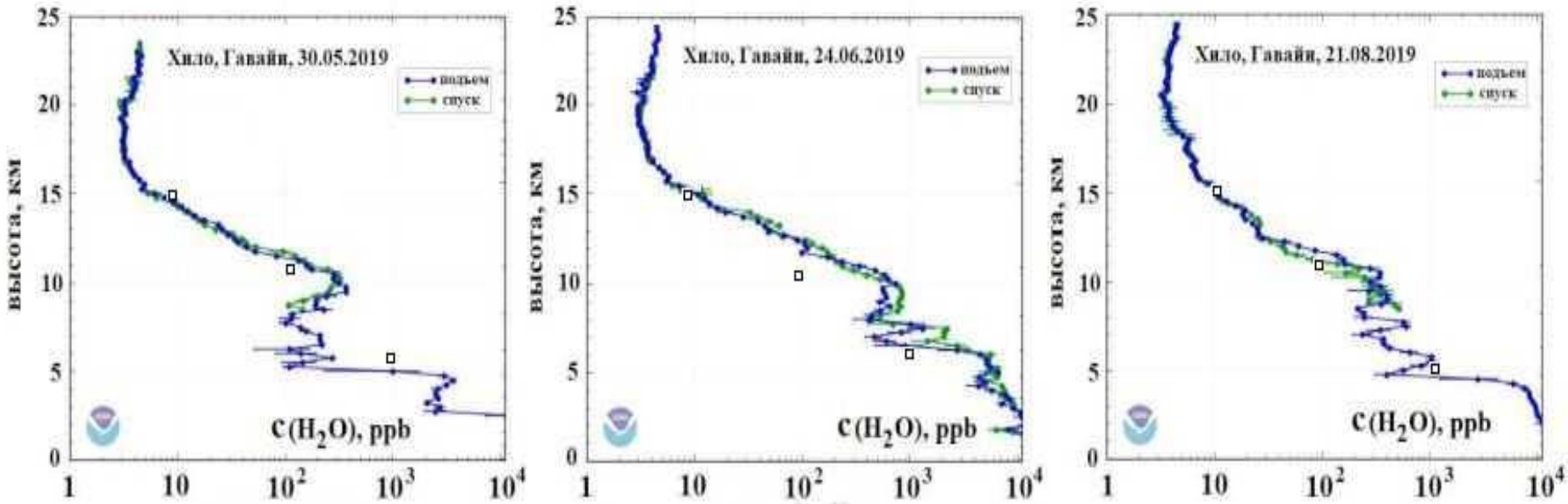
$$\frac{dT}{dh} = -6.5 \frac{K}{km}$$

Плотность молекул воздуха в атмосфере



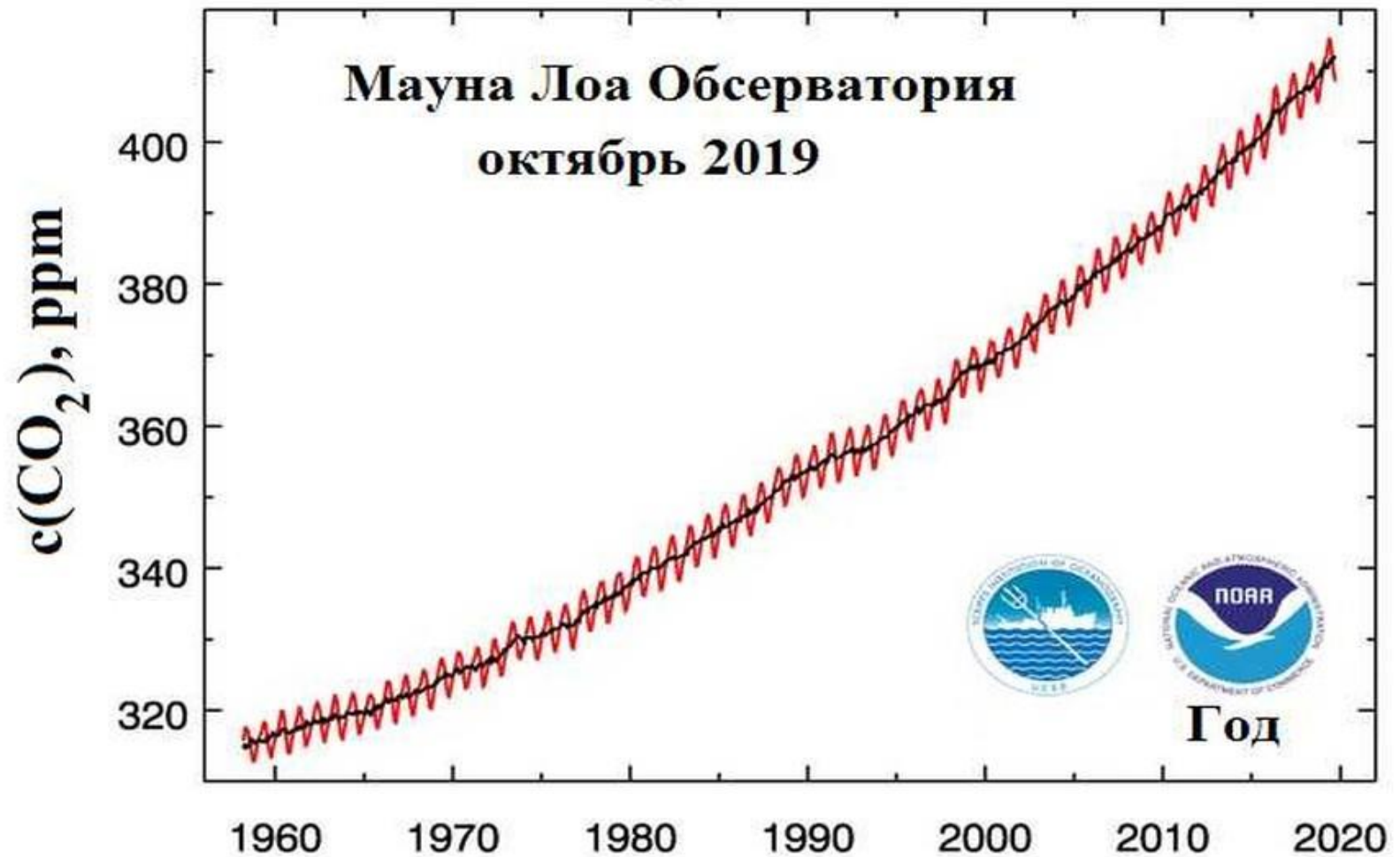
$$N = N_o \exp\left(-\frac{h}{\Lambda}\right), \Lambda = 8.4\text{km}$$

Атмосферная вода

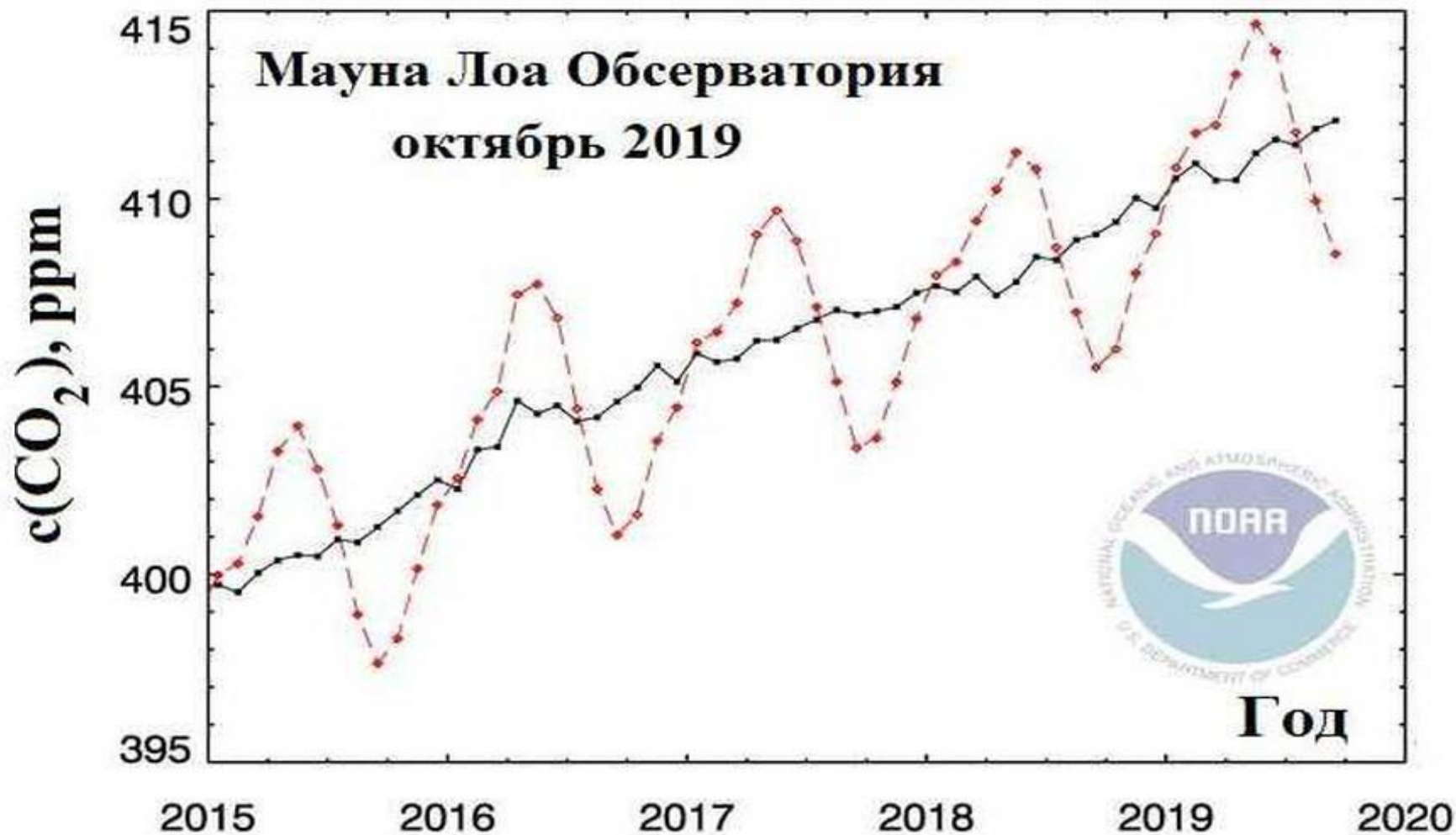


$$N(H_2O) = N_o \exp\left(-\frac{h}{\lambda}\right), N_o = 4.3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}, \lambda = 2 \text{ km}$$

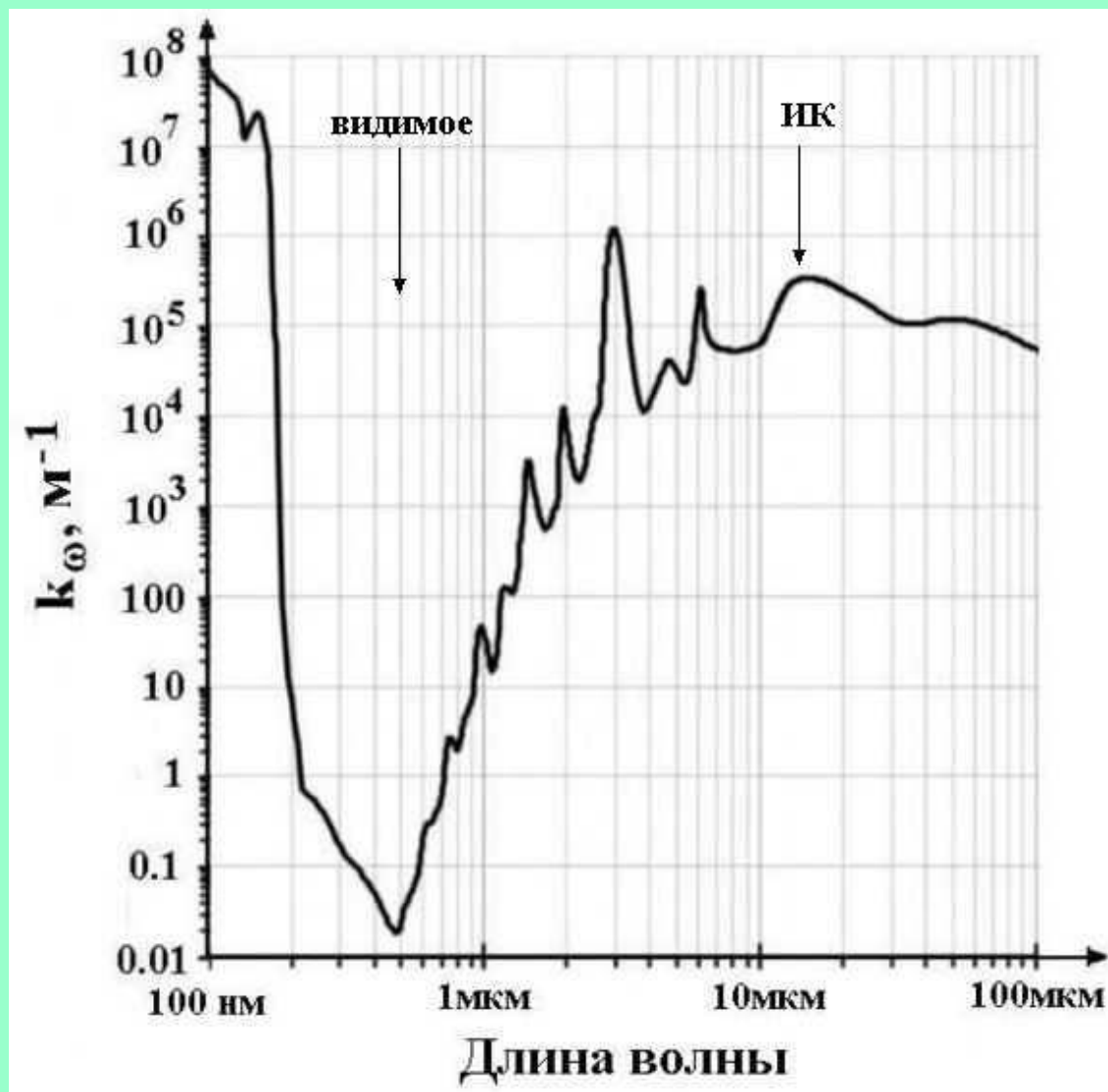
Атмосферный углекислый газ 1



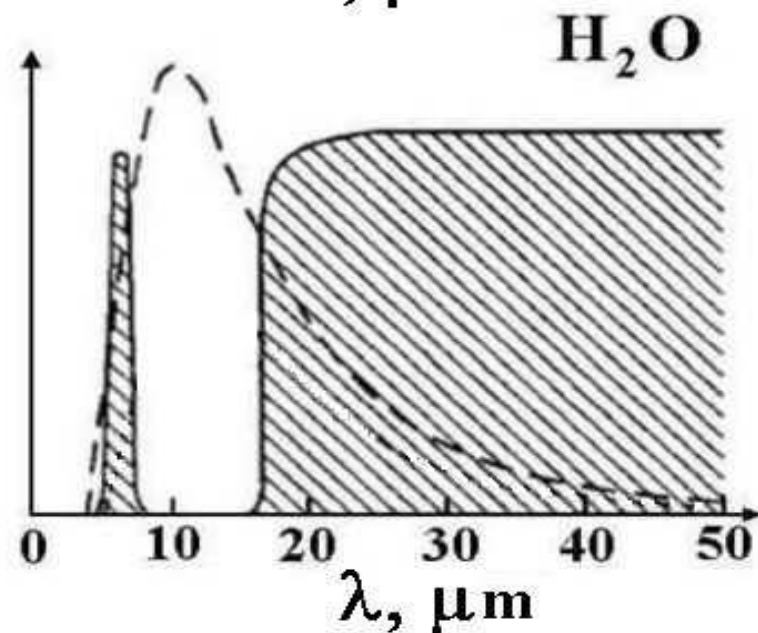
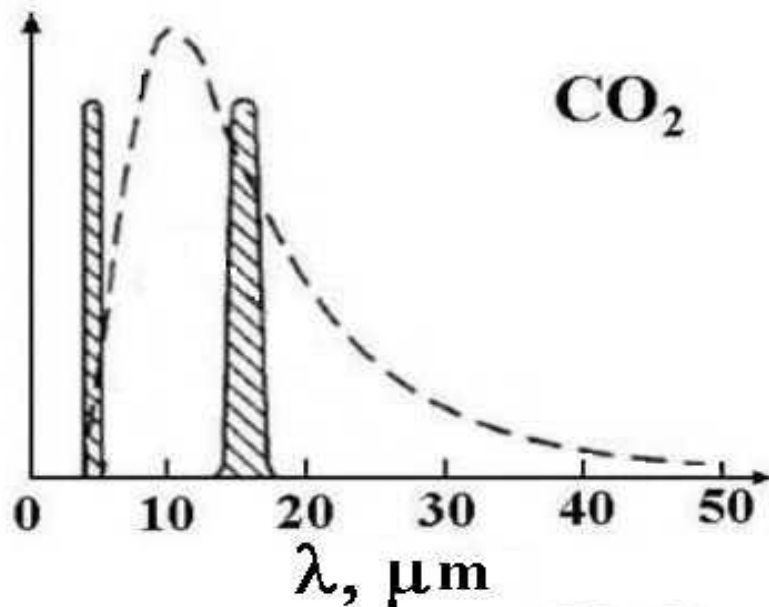
Атмосферный углекислый газ 2



Поглощение жидкой водой



Спектр поглощения CO₂ и H₂O



Twomey, 1991

Глобальная температура Земли 1



Глобальная температура Земли 2

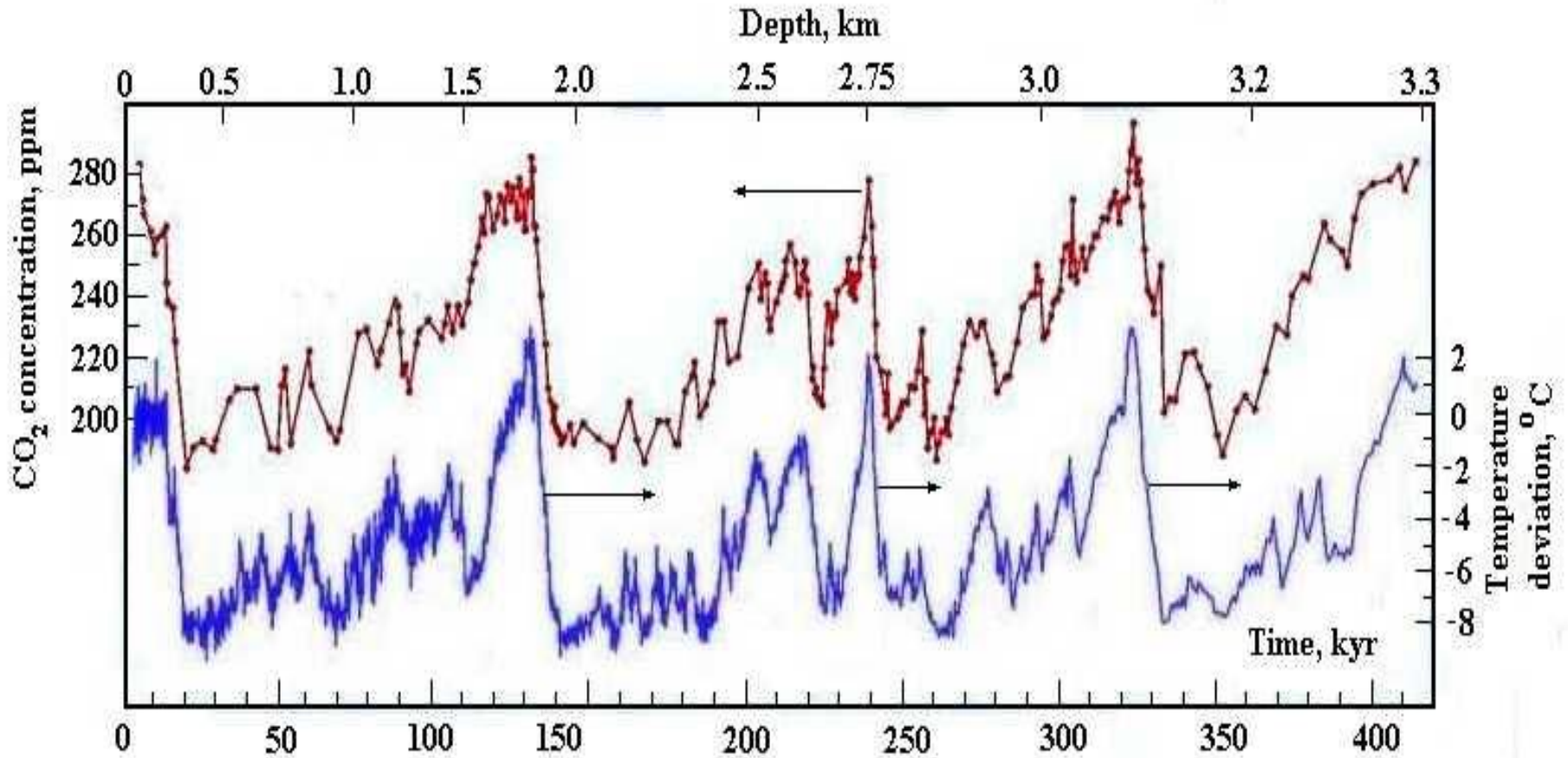


Изменение глобальной температуры

	вся Земля май 2018	сев.п/ш май 2018	южн.п/ш май 2018	вся Земля май 2019	сев.п/ш май 2019	южн.п/ш май 2019
суша	1.21	1.27	1.06	1.16	1.25	1.13
океаны	0.60	0.69	0.54	0.73	0.81	0.69
Суша + океаны	0.77	0.91	0.62	0.85	0.93	0.77

За нуль берется средняя температура в 20 веке

Эволюция температуры и CO_2 в прошлом



Станция «Восток» на Антарктиде.

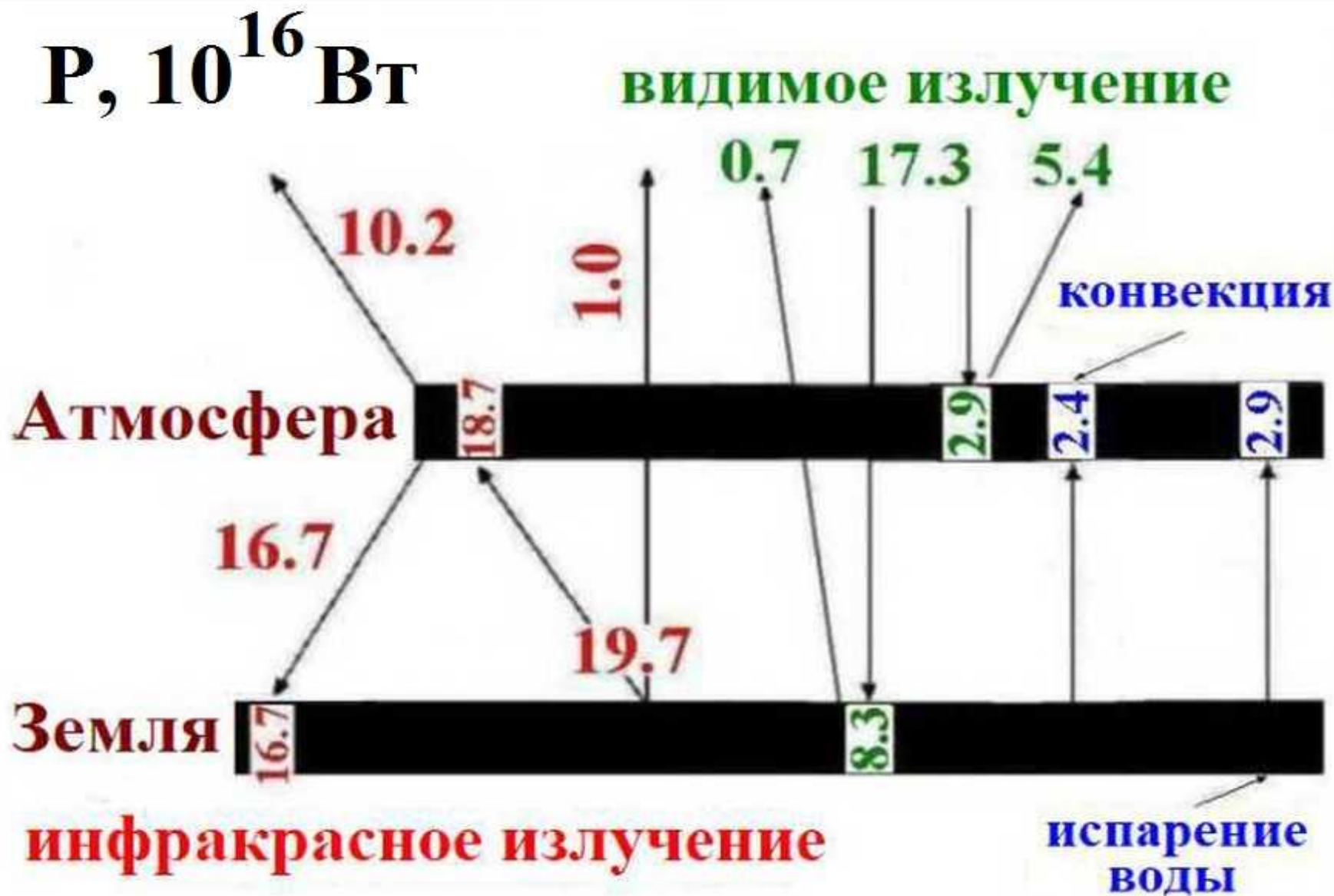
Рост глобальной температуры

Изменение глобальной температуры при удвоении концентрации углекислого газа

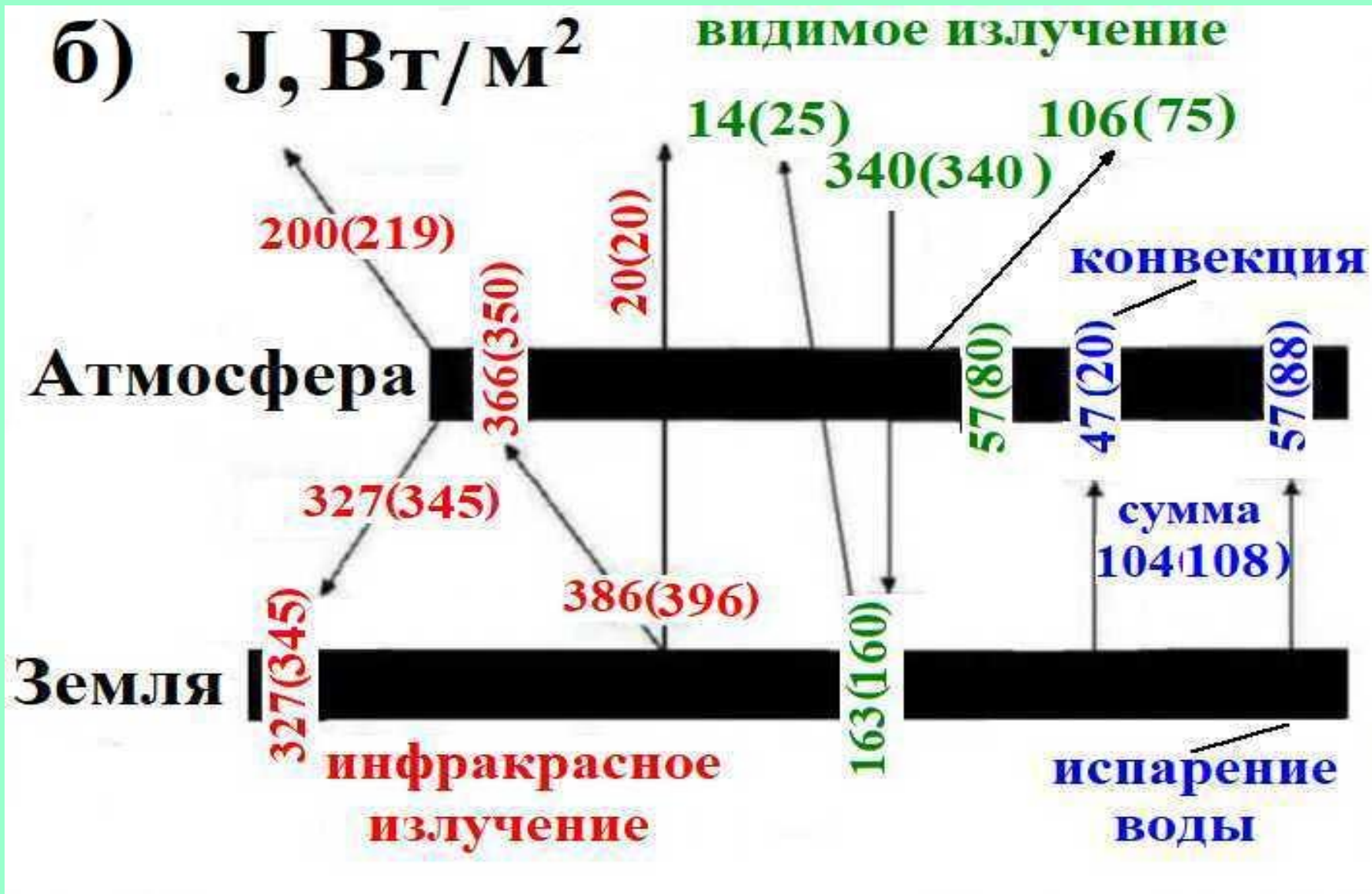
Современные условия : $\Delta T = (2.5 \pm 0.4) K$

В прошлом : $\Delta T = (22 \pm 4) K$

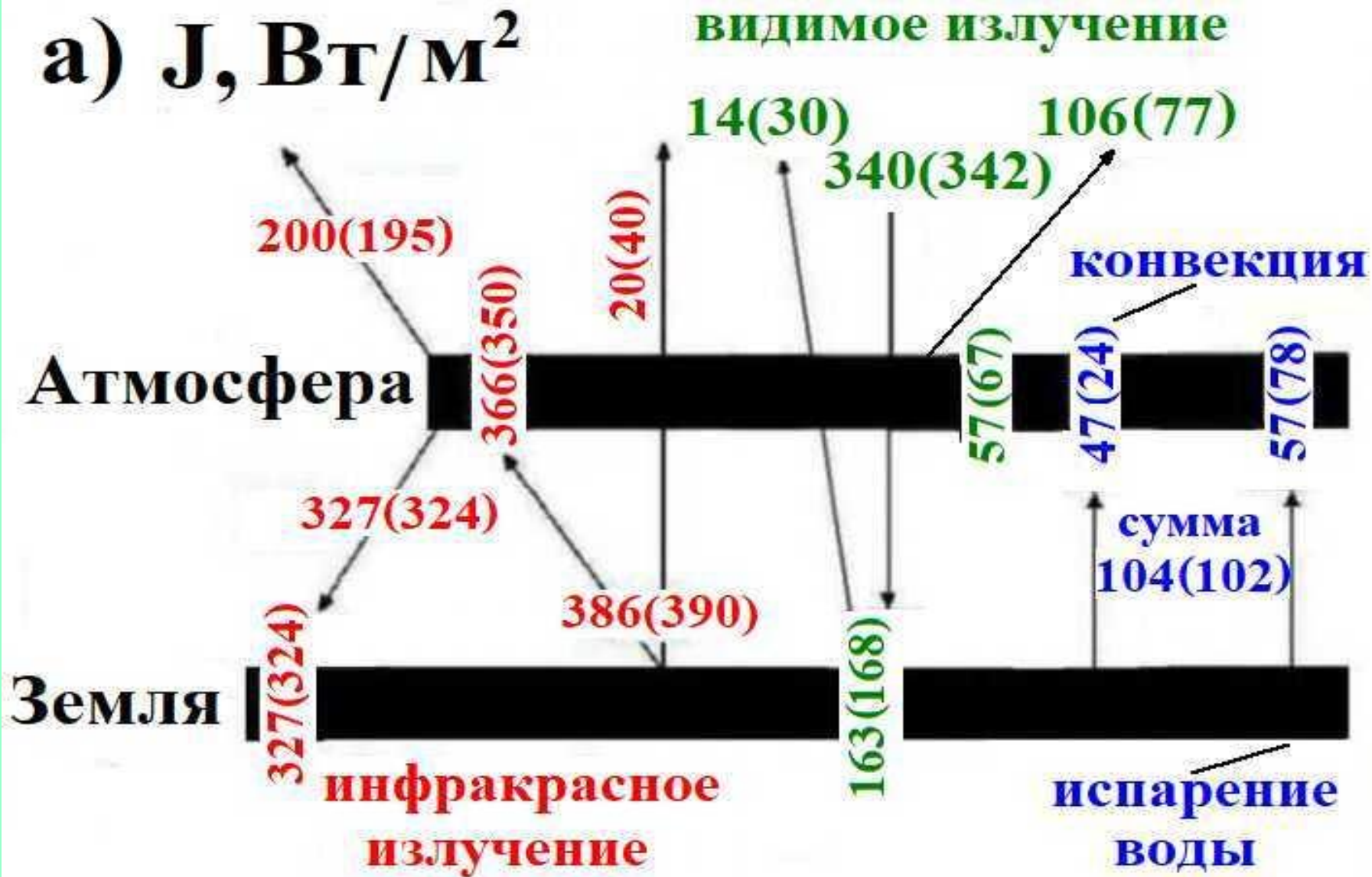
Энергетика атмосферы 1



Энергетика атмосферы 3



Энергетика атмосферы 2



Особенности ИК излучения атмосферы

1. Атмосфера – плоский слой газа со слабо меняющейся температурой по высоте.
2. Локальное термодинамическое равновесие.
3. Закон Кирхгофа или принцип детального равновесия.
4. Некогерентность излучения – коэффициент поглощения и поток излучения – сумма от отдельных излучателей.
5. Спектр ИК излучения в результате колебательно-вращательных переходов следует из данных HITRAN банка.
6. Взаимодействие между компонентами при увеличении концентрации одной из компонент ведет к росту потока излучения данной компоненты и уменьшению для других.
7. Параметры излучения микрокапель, образующих облака, следует из энергетического баланса Земли и атмосферы.

Модели эмиссии атмосферы

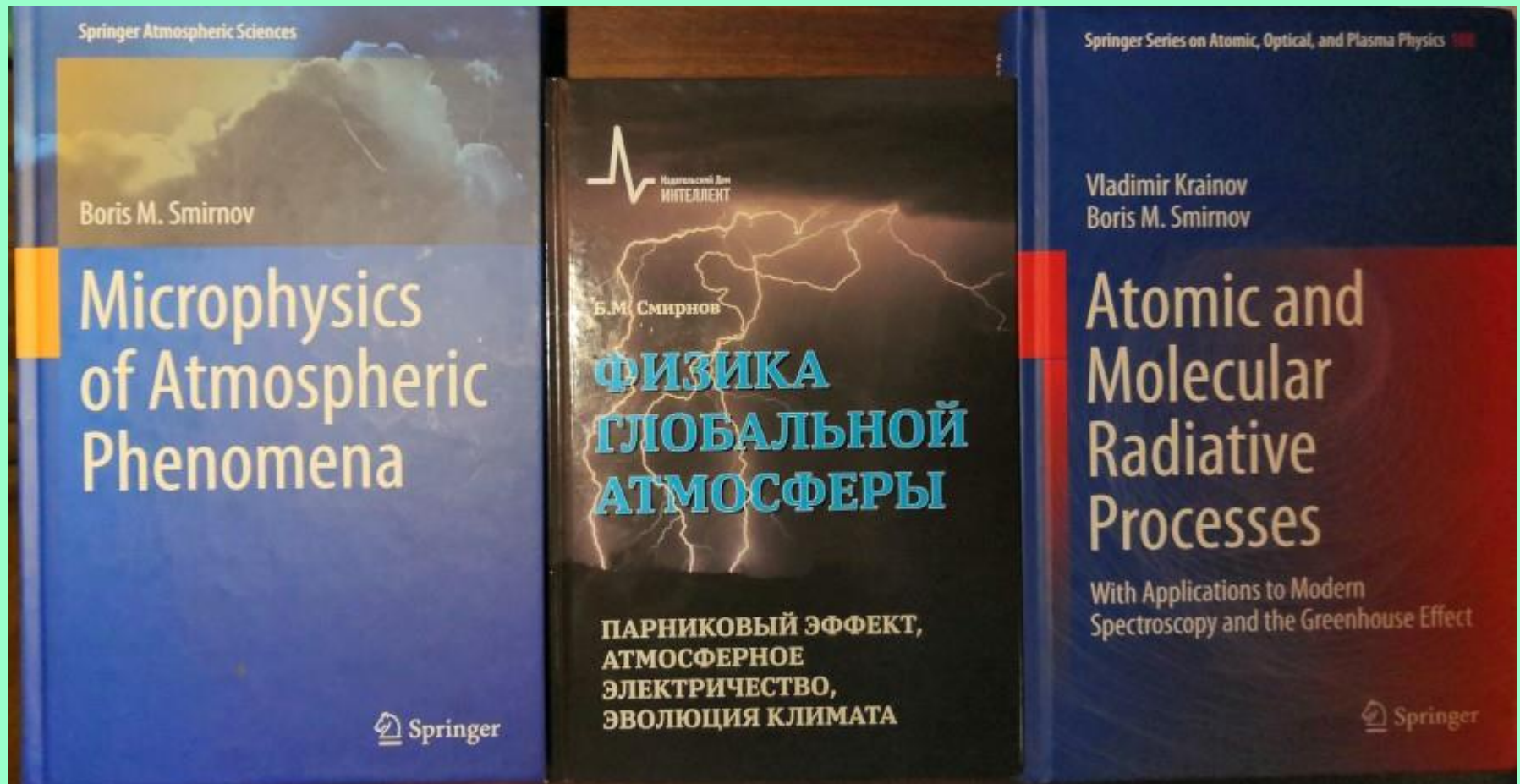
Три типа излучателей атмосферы :

молекулы воды, микрокапли воды,

молекулы углекислого газа

- 1. Модель не зависящего от частоты коэффициента поглощения.**
- 2. Коэффициент поглощения атмосферной воды не зависит от частоты.**
- 3. Коэффициент поглощения микрокапель воды (облака) не зависит от частоты.**

Предыдущие исследования



Излучение однородного слоя газа

Параметры эмиссии :

k_ω — коэффициент поглощения

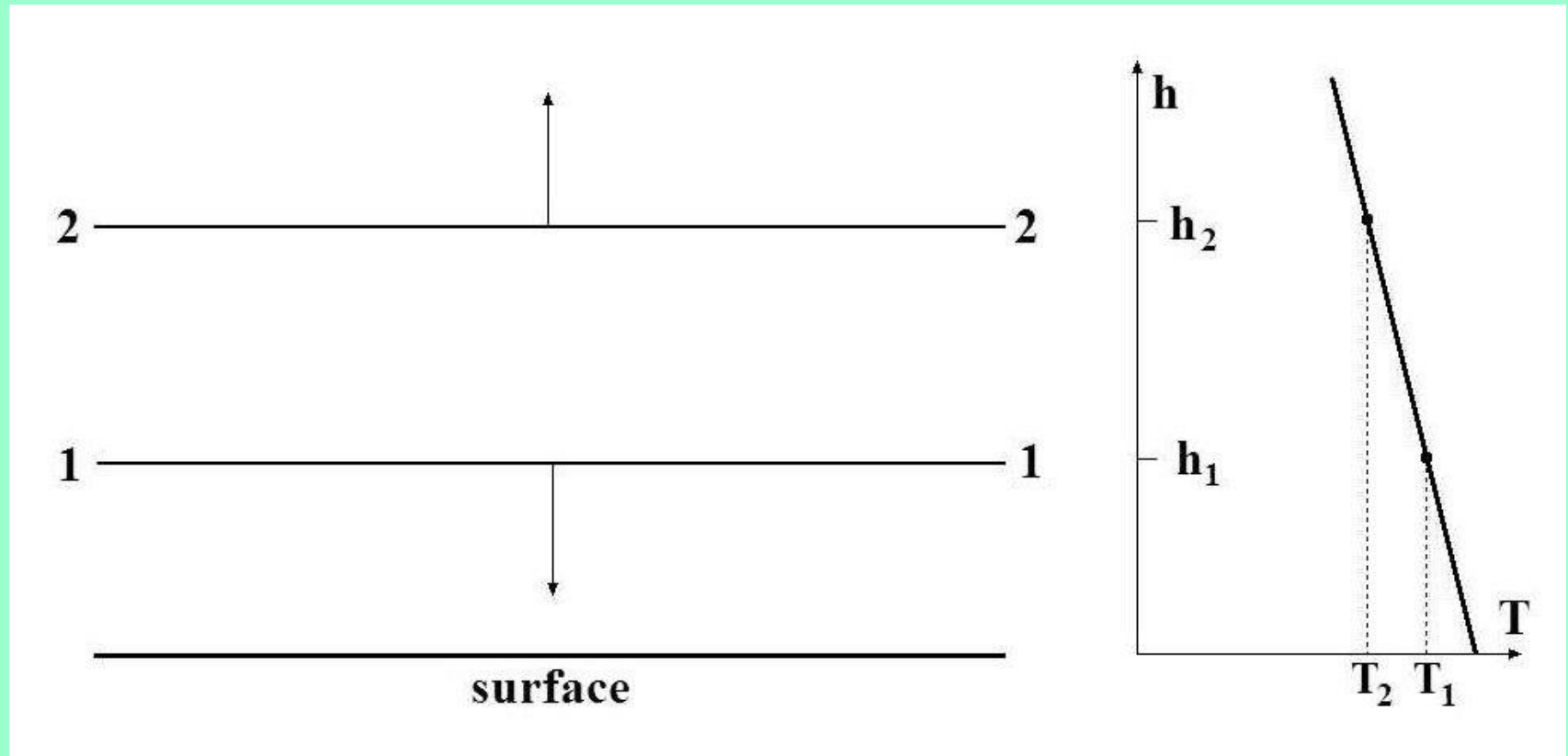
$u_\omega = \int_0^\infty k_\omega dh$ — оптическая толщина слоя

$I_\omega = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2c^2} \cdot \left[\exp\left(\frac{\hbar\omega}{T}\right) - 1 \right]^{-1}$ — поток излучения черного тела

$g(u_\omega) = \int_0^1 d \cos \theta \int_0^{u_\omega} du \exp\left(-\frac{u}{\cos \theta}\right)$ — фактор непрозрачности слоя

$J_\omega = I_\omega g(u_\omega)$ — поток излучения газового слоя

Излучение неоднородного слоя 2



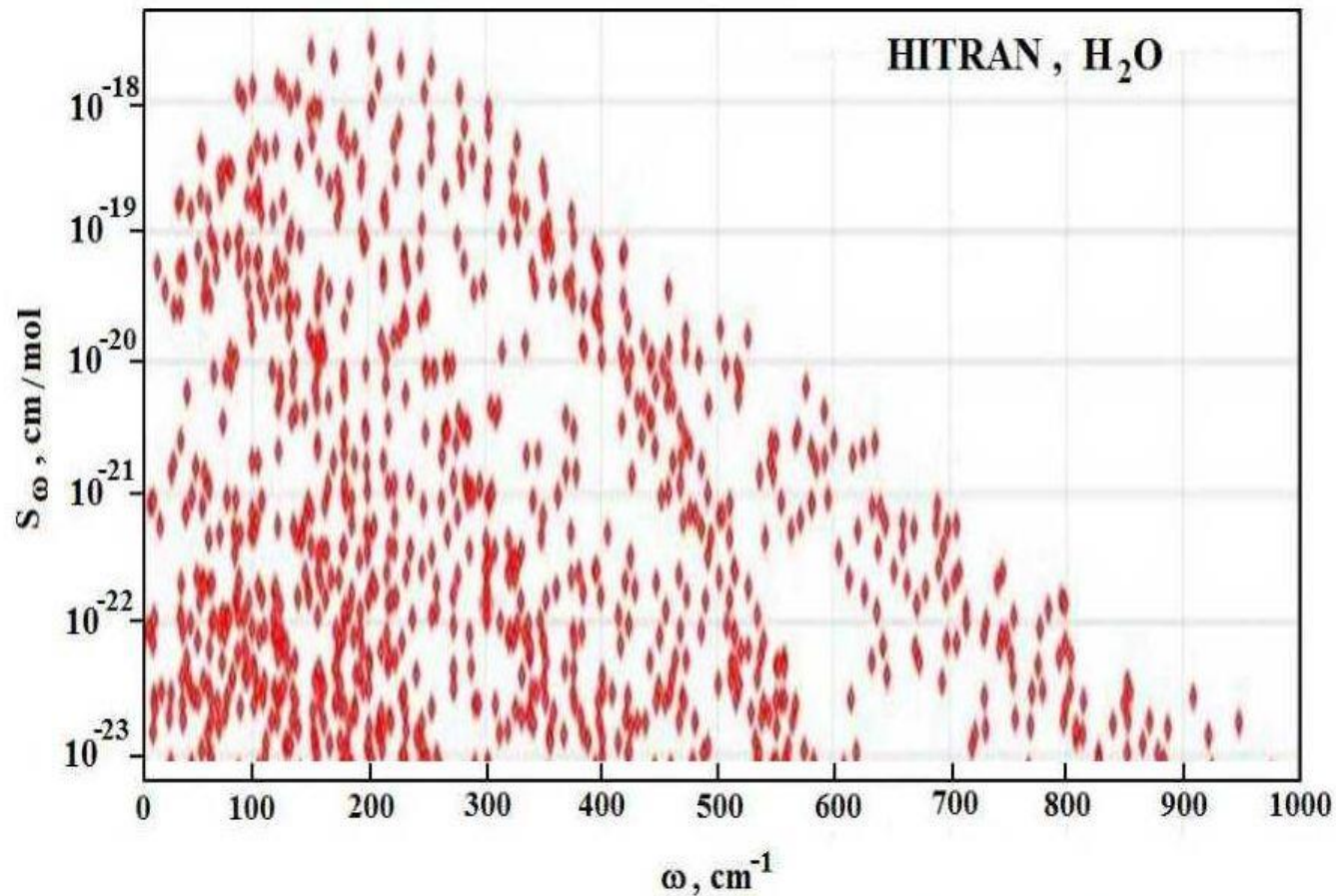
$$J_\omega = j_\omega(1 - \alpha), \quad j_\omega = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2 c^2} \left[\exp\left(\frac{\hbar\omega}{T_\omega}\right) - 1 \right]^{-1}$$

$$u(\omega) = 2/3$$

$$\alpha = \frac{5}{18} \left(\frac{\hbar\omega}{T^2} \cdot \frac{dT}{du} \right)^2$$

$$\int_{h_+(\omega)}^{\infty} k_\omega dh = 2/3, \quad \int_0^{h_+(\omega)} k_\omega dh = 2/3$$

HITRAN – H₂O



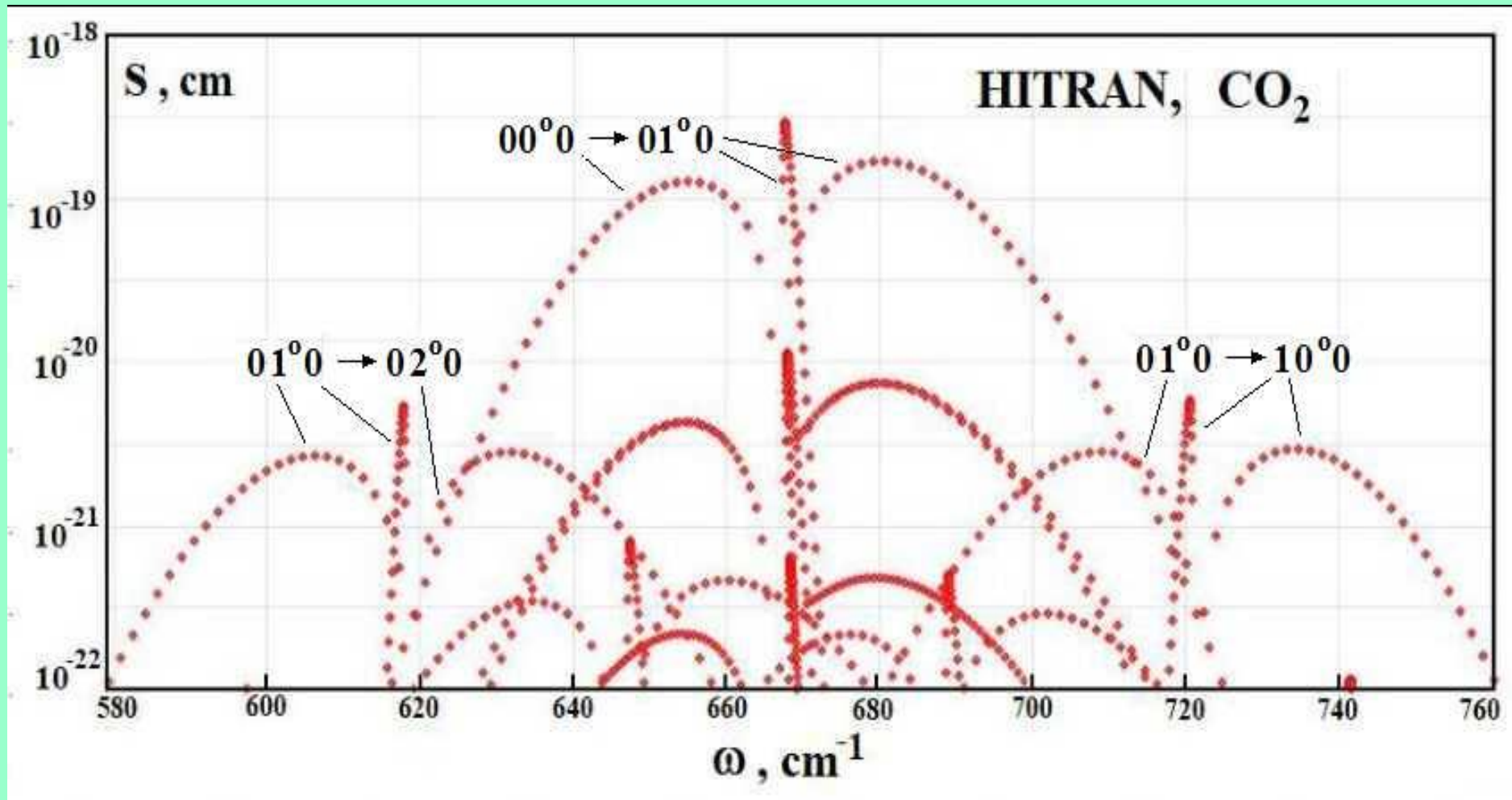
$$\sigma_\omega \square 1 / (N(H_2O) \square \Lambda), \quad \sigma_\omega \square 10^{-23} \text{ cm}^2$$

$$S_j(T) = S_j(T_o) \cdot \exp\left(\frac{E_j}{T_o} - \frac{E_j}{T}\right)$$

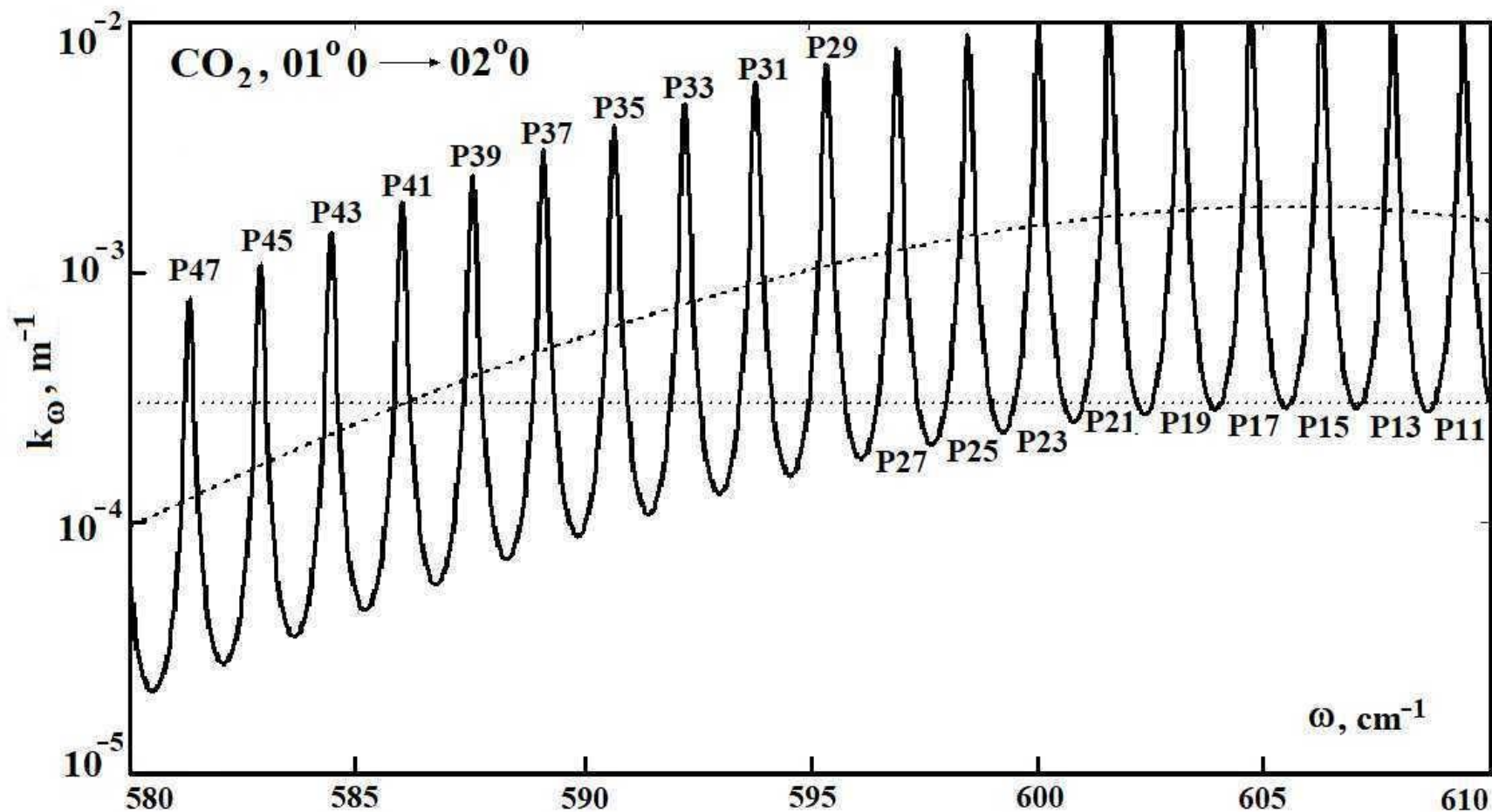
$$k_\omega = N\sigma_\omega = N \sum_j S_j a_j(\omega)$$

$$a_j(\omega) = \frac{\nu_j}{2\pi \left[(\omega - \omega_j)^2 + (\nu_j/2)^2 \right]}$$

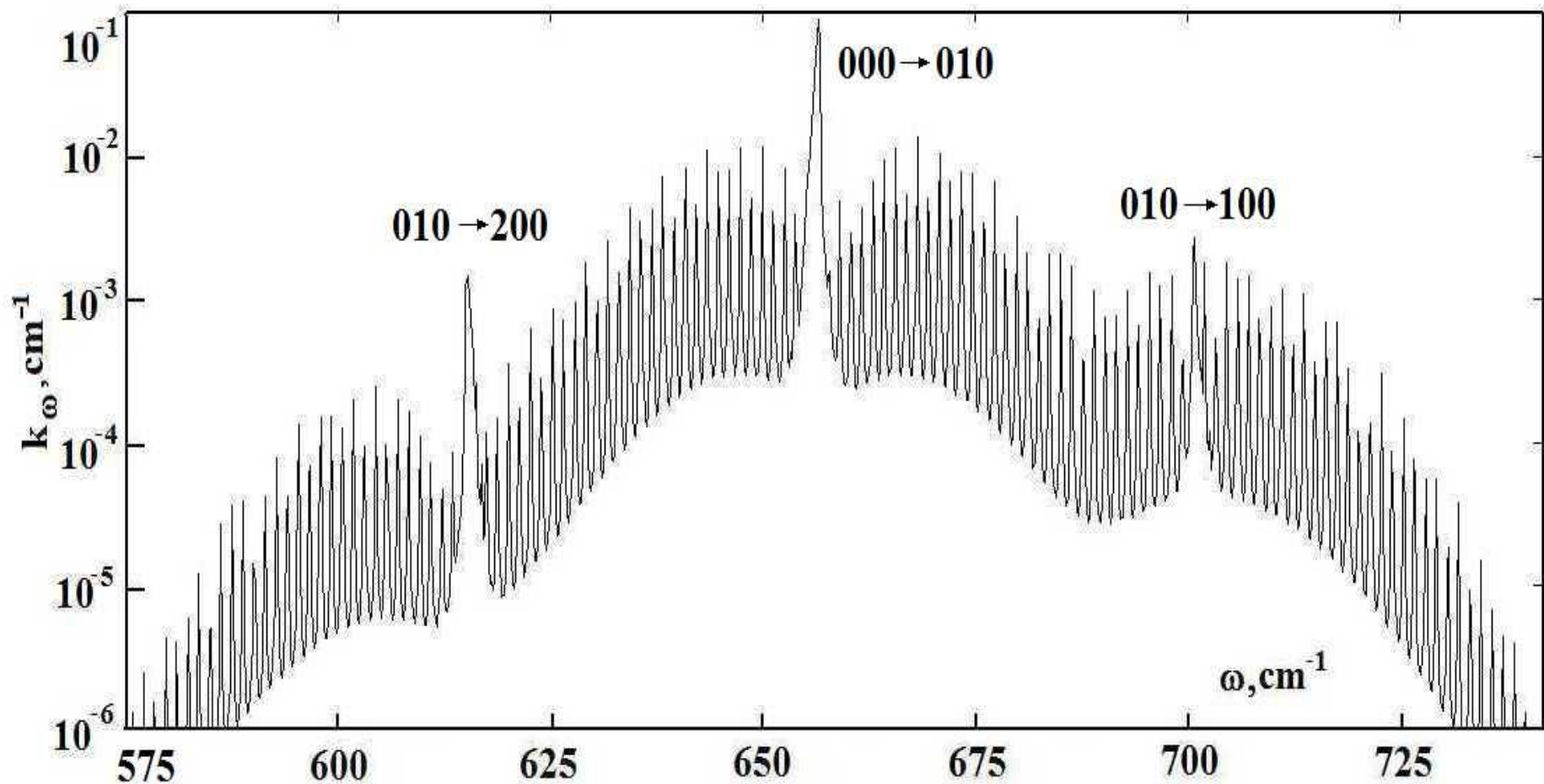
HITRAN - CO₂



Коэффициент поглощения молекул углекислого газа в атмосфере



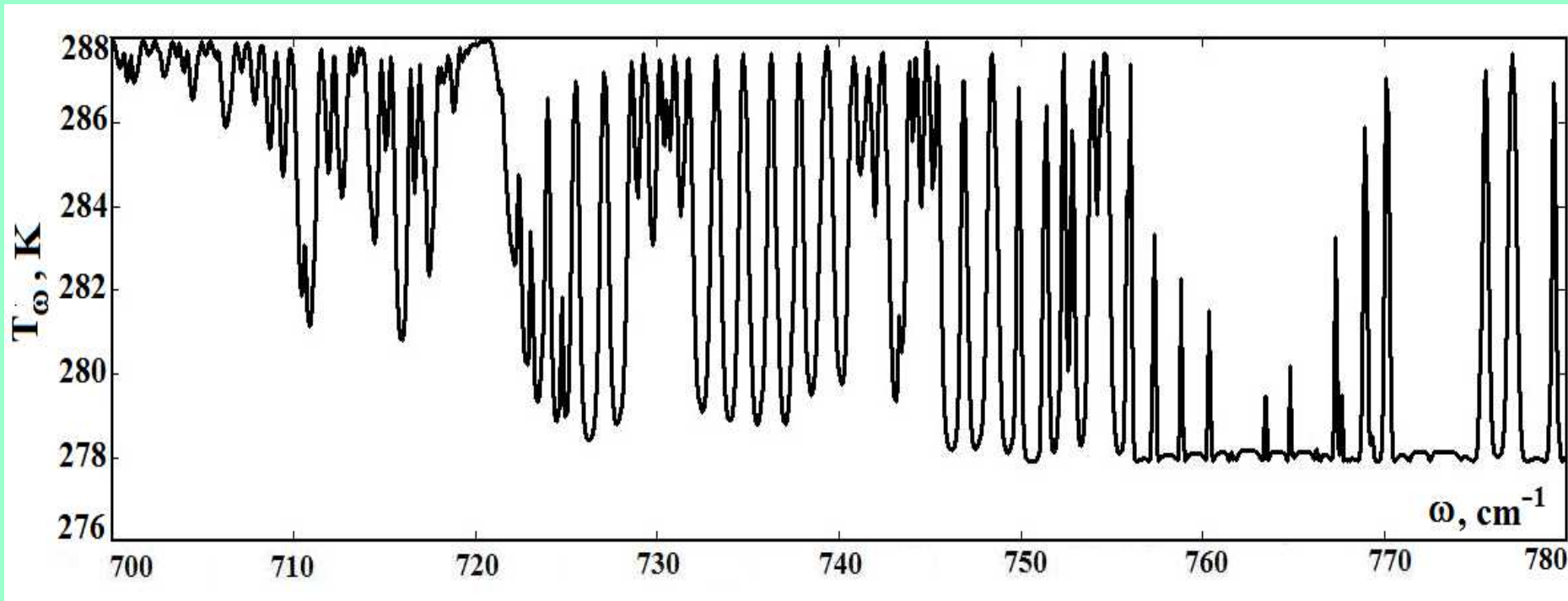
Коэффициент поглощения молекул углекислого газа в атмосфере



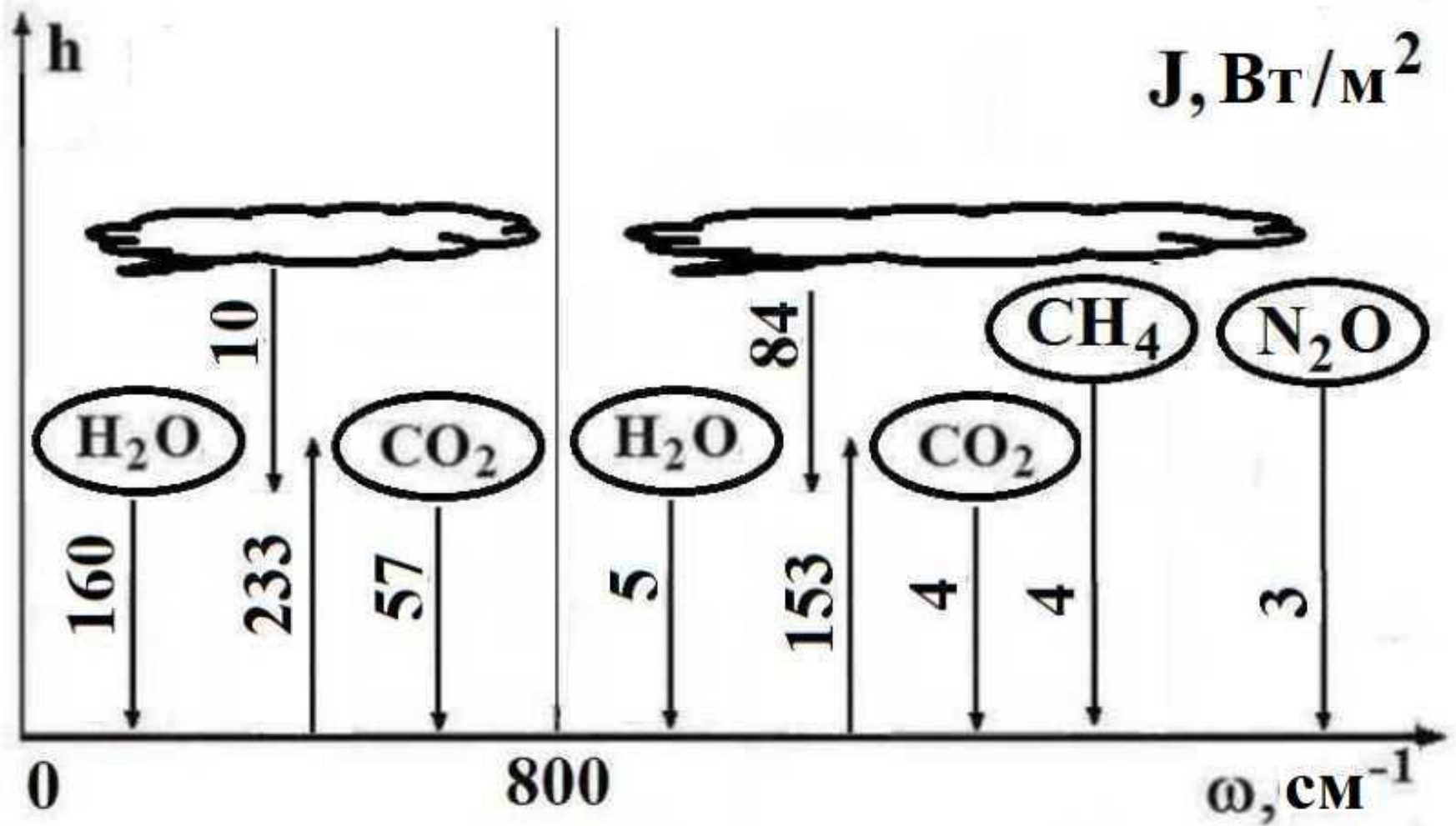
Поток излучения атмосферы

$$J_{\omega} = I_{\omega}(T_{\omega})g(u_{\omega}) + I(T_{cl}) \cdot [1 - g(u_{\omega})]$$

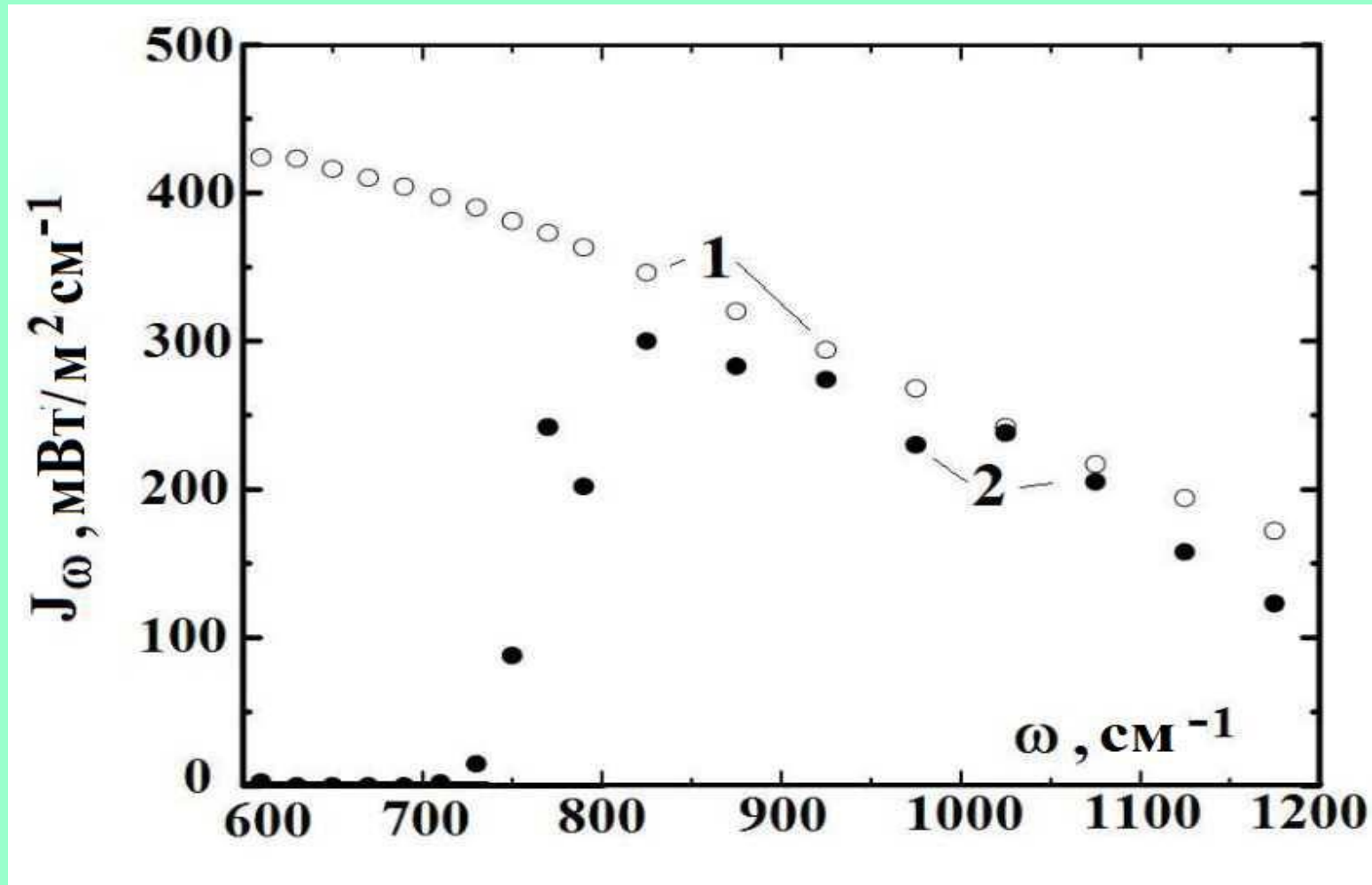
T_{cl} – температура облаков



Эмиссия атмосферы к Земле



Прозрачность атмосферы



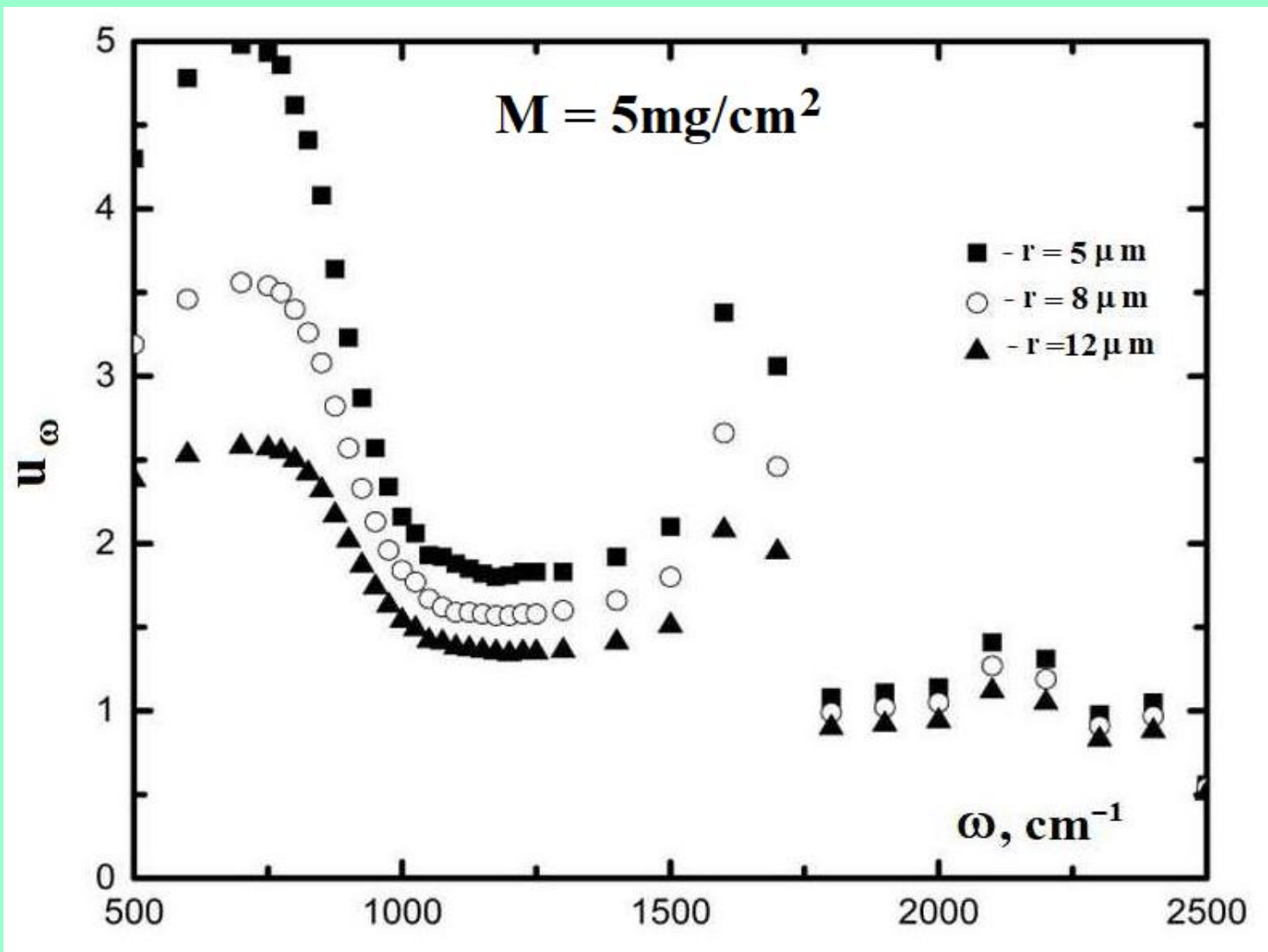
1 – поток с поверхности Земли, 2 – поток на границе облаков

Парниковые компоненты

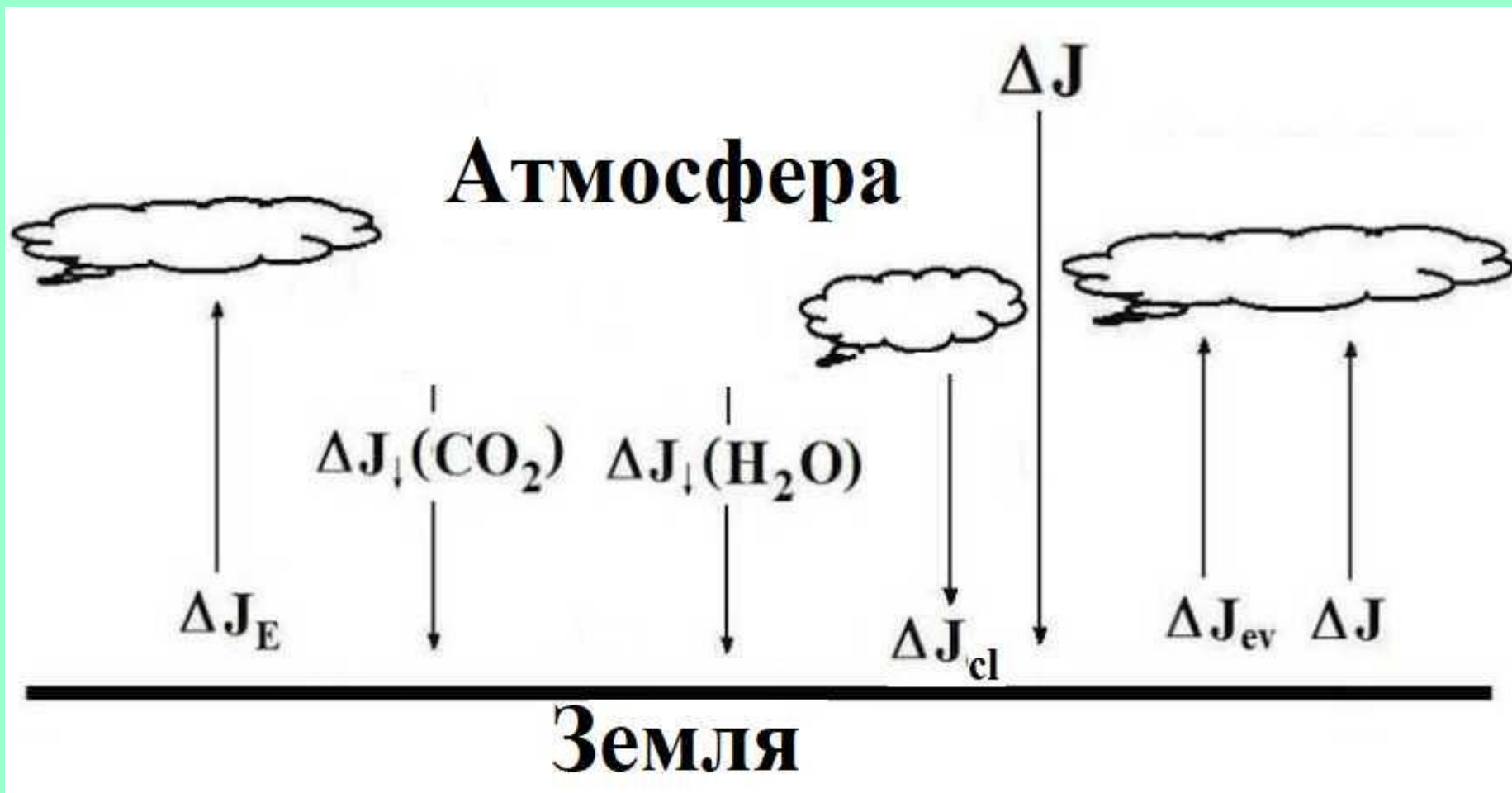
Компонента	Содержание	Поток 1	Поток 2
H ₂ O молекулы	2.6	172(53%)	168(51%)
CO ₂ молекулы	0.6	44(14%)	50(16%)
Микрокапли воды	0.01	110(33%)	110(33%)

Содержание на единицу площади столба атмосферы дается в г/см², поток 1 – поток инфракрасного излучения из атмосферы на поверхность Земли при современной концентрации молекул CO₂ в атмосфере, поток 2 – то же при удвоенной концентрации молекул CO₂. В скобках – вклад данной компоненты в полный поток излучения.

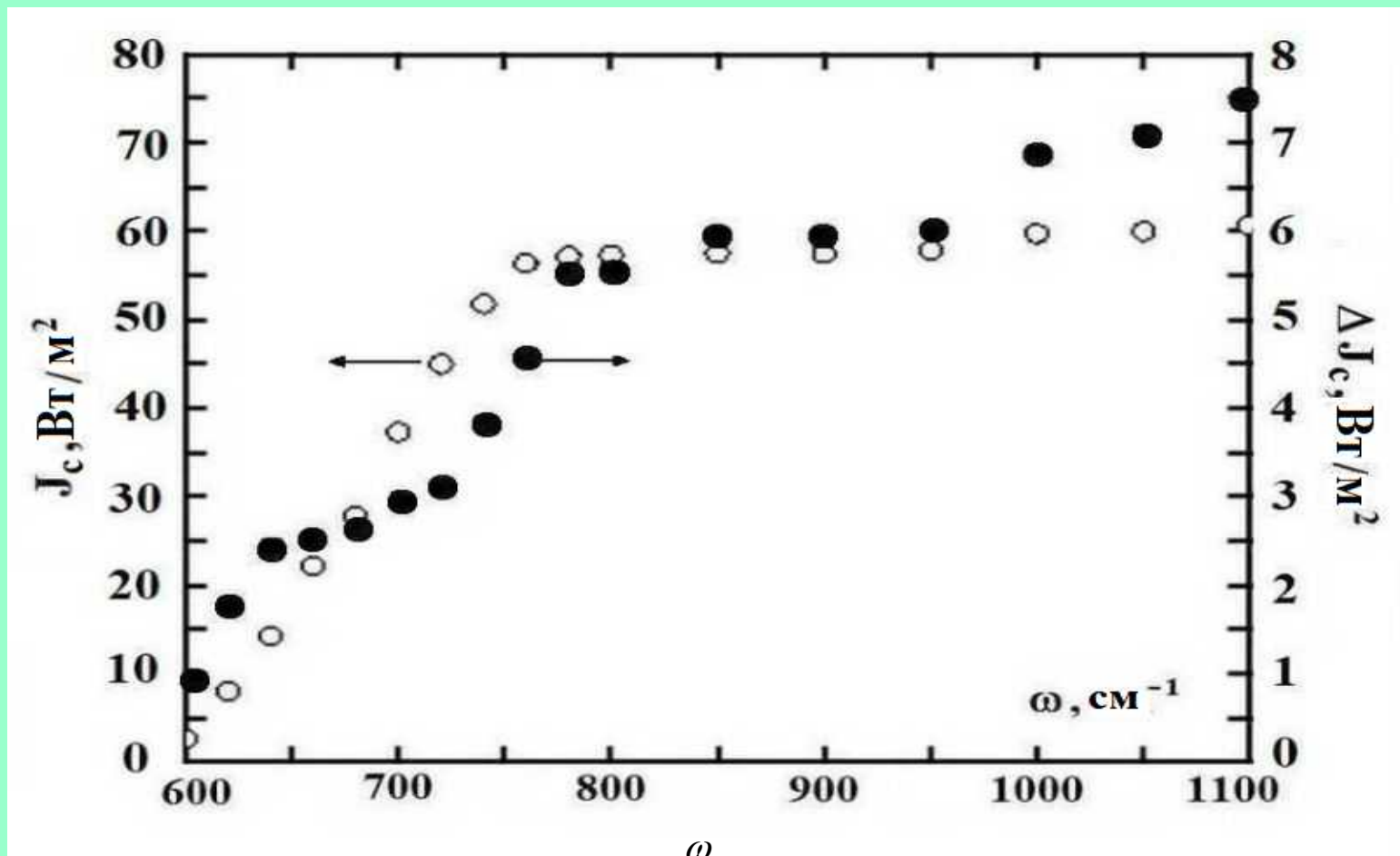
Теория Ми для поглощения ИК излучения водяной каплей



Параметр чувствительности климата

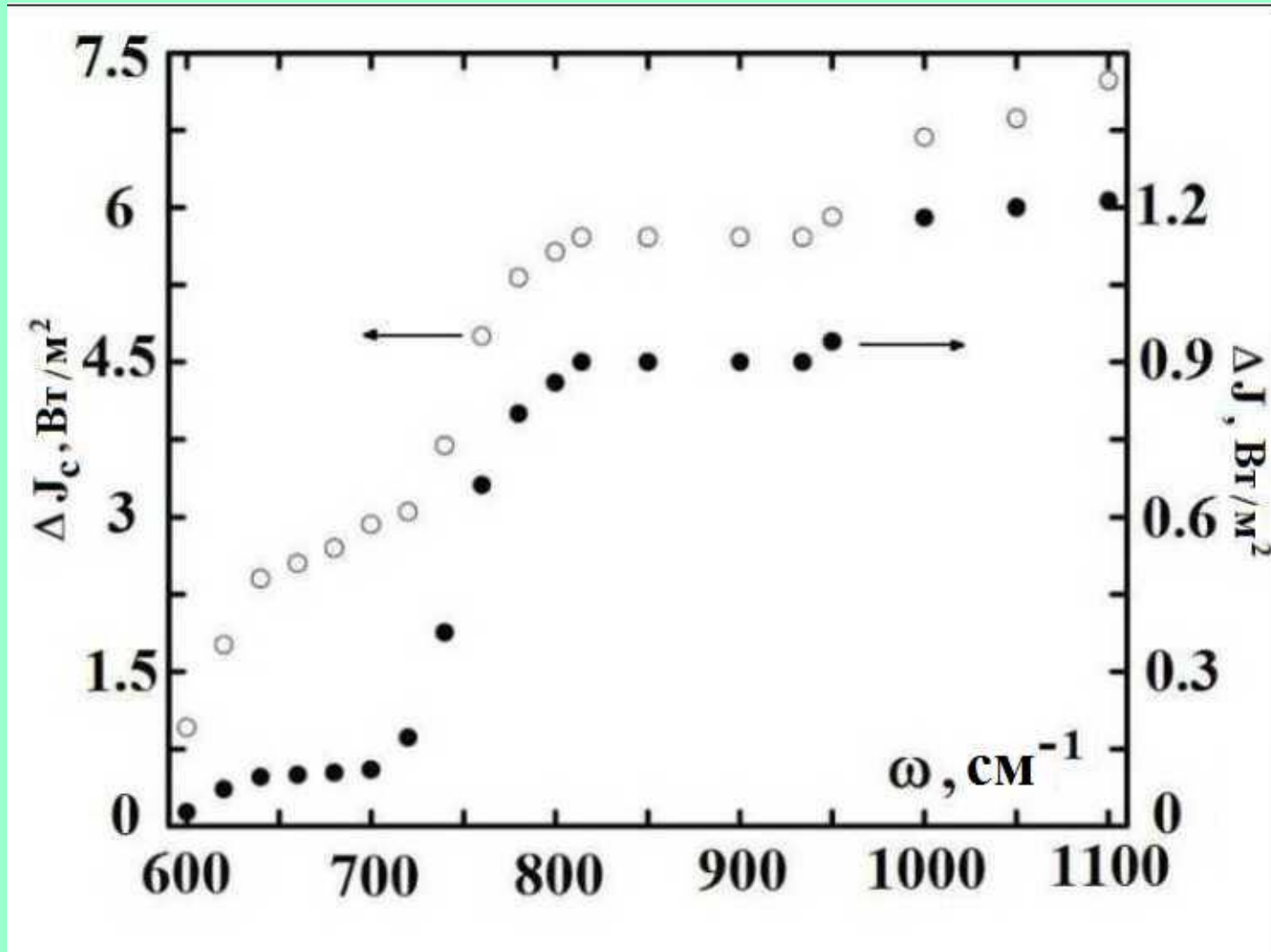


Удвоение концентрации углекислого газа 1



$$J(\omega) = \int_0^{\omega} j(\omega') d\omega'$$

Удвоение концентрации углекислого газа 2



Удвоение концентрации углекислого газа 3

Изменение глобальной температуры

$$\Delta T = (0.5 \pm 0.2) K$$

В пренебрежении перекрытием спектров

$$\Delta T = (3.0 \pm 1.5) K$$

**Вывод : углекислый газ вносит вклад (20-25)%
как в поток излучения к Земле, так и в его
изменение**

**Изменение глобальной температуры с 1980г. 0.6 К, за
счет углекислого газа – примерно 0.2К.**

Результаты

The theory is represented for emission of a weakly nonuniform layer of a molecular gas, which is found in local thermodynamic equilibrium, on the basis of general principles of molecular spectroscopy, kinetic theory of gases, electrodynamics and thermodynamics. This theory is applied to the Earth's atmosphere with using its energetic balance, the Mie theory for absorption of infrared radiation by water microdrops of clouds, and data of the HITRAN bank for parameters of radiative transitions in molecules. The theory allows one to analyze various aspects of infrared atmospheric emission including the greenhouse phenomenon. In particular, the mistake is indicated in most climatological evaluations of the change of the global temperature as a result of an augmentation of atmospheric CO₂ because they use the Arrhenius concept according to which absorption bands of atmospheric water and carbon dioxide are separated. But these bands are overlapped, and it is obtained on the basis of the model of standard atmosphere and data of the HITRAN bank that the change of the radiative flux created by CO₂ molecules to the Earth's surface exceeds by six times the total radiative flux, i.e. the global temperature change is overstepped in six times in such evaluations.

- Includes the fundamentals of atmospheric physics and thermodynamics of atmospheric emission.
- Based on a wide range of atmospheric data.
- With considerations on the effects of emissions generated by humans.

THE SERIES: TEXTS AND MONOGRAPHS IN THEORETICAL PHYSICS

The series *Texts and Monographs in Theoretical Physics* collects advanced texts on selected topics from the broad and varied field of Theoretical Physics. The works in the series will enable the readers to get a deep understanding of current topics in Theoretical Physics, with a special emphasis on recent developments. They are aimed at advanced students and researchers in theoretical and mathematical physics, and can also serve as secondary reading for lectures and seminars at post-graduate levels.

TMP

DE GRUYTER

Boris M. Smirnov

TRANSPORT OF INFRARED ATMOSPHERIC RADIATION

FUNDAMENTALS OF THE GREENHOUSE PHENOMENON

Boris M. Smirnov
TRANSPORT OF INFRARED ATMOSPHERIC RADIATION

TEXTS AND MONOGRAPHS
IN THEORETICAL PHYSICS



www.degruyter.com
ISBN 978-3-11-062765-7
ISSN 2627-3934

Спасибо !