

Глобальная экология и глобальная безопасность

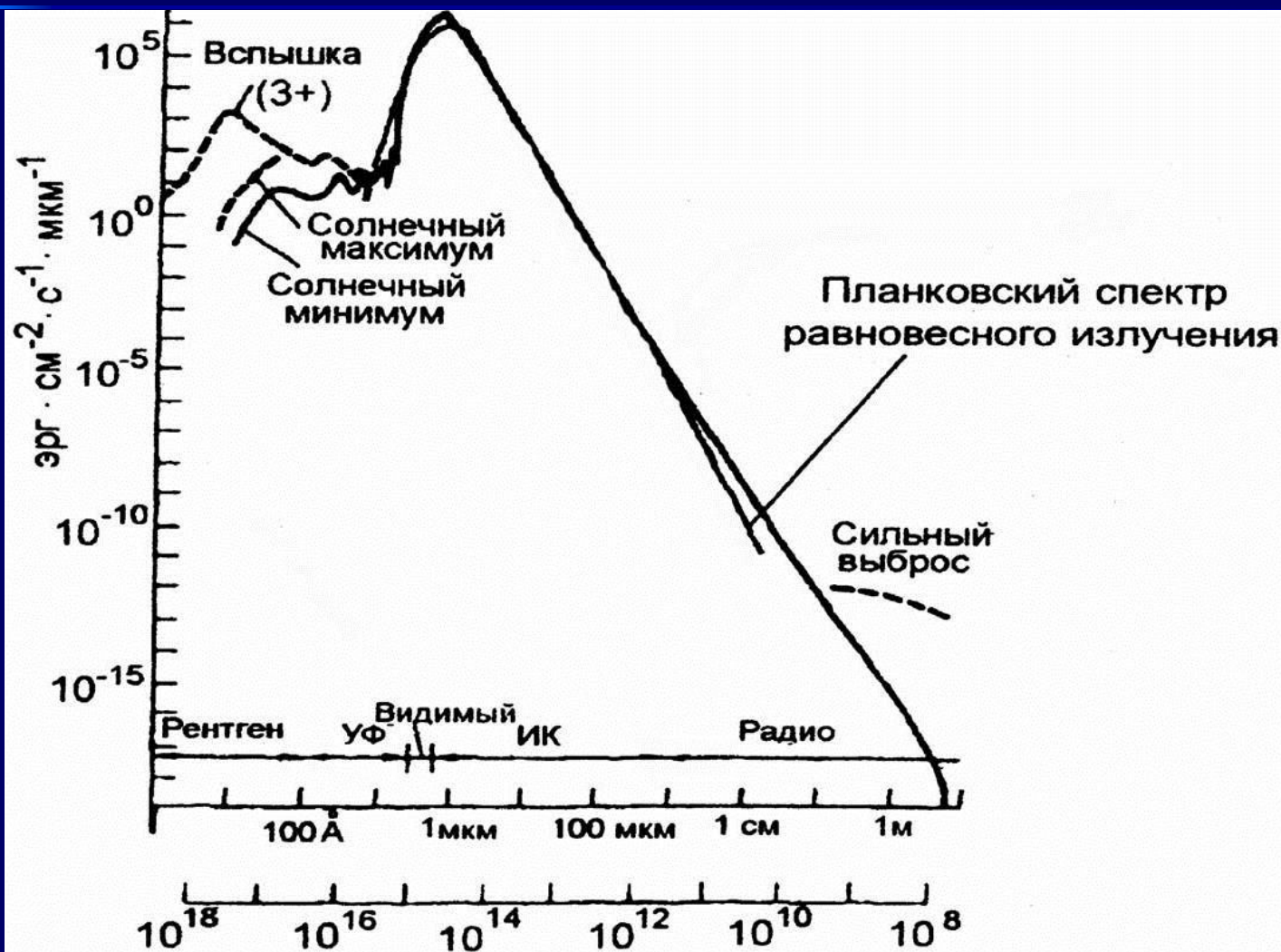
Лекция 6. Озоновый слой планеты Земля

(С) Аржанников А. В.

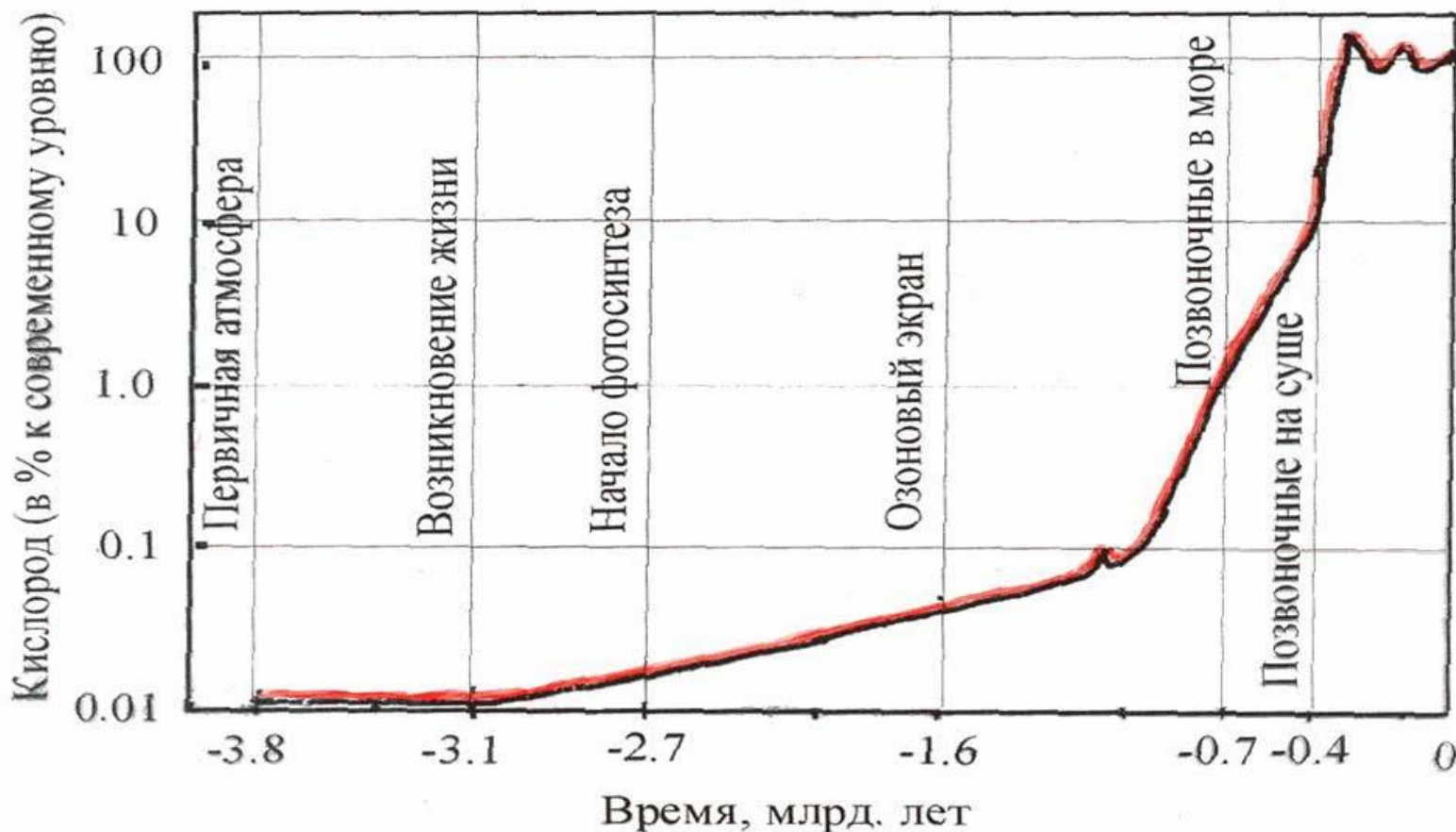
Озоновый слой планеты Земля.

- Ультрафиолетовое излучение как спектральная составляющая в потоке излучения от Солнца.
- Солнечные циклы и роль магнитосферы Земли.
- Кинематика наработки озона в атмосфере.
- Представление об озоновом слое и его роли в защите живого на поверхности Земли.
- Факторы, влияющие на толщину озонового слоя. Озоновые дыры.
- Возможные пути восстановления озонового слоя.

Спектр излучения, поступающего от Солнца на Землю

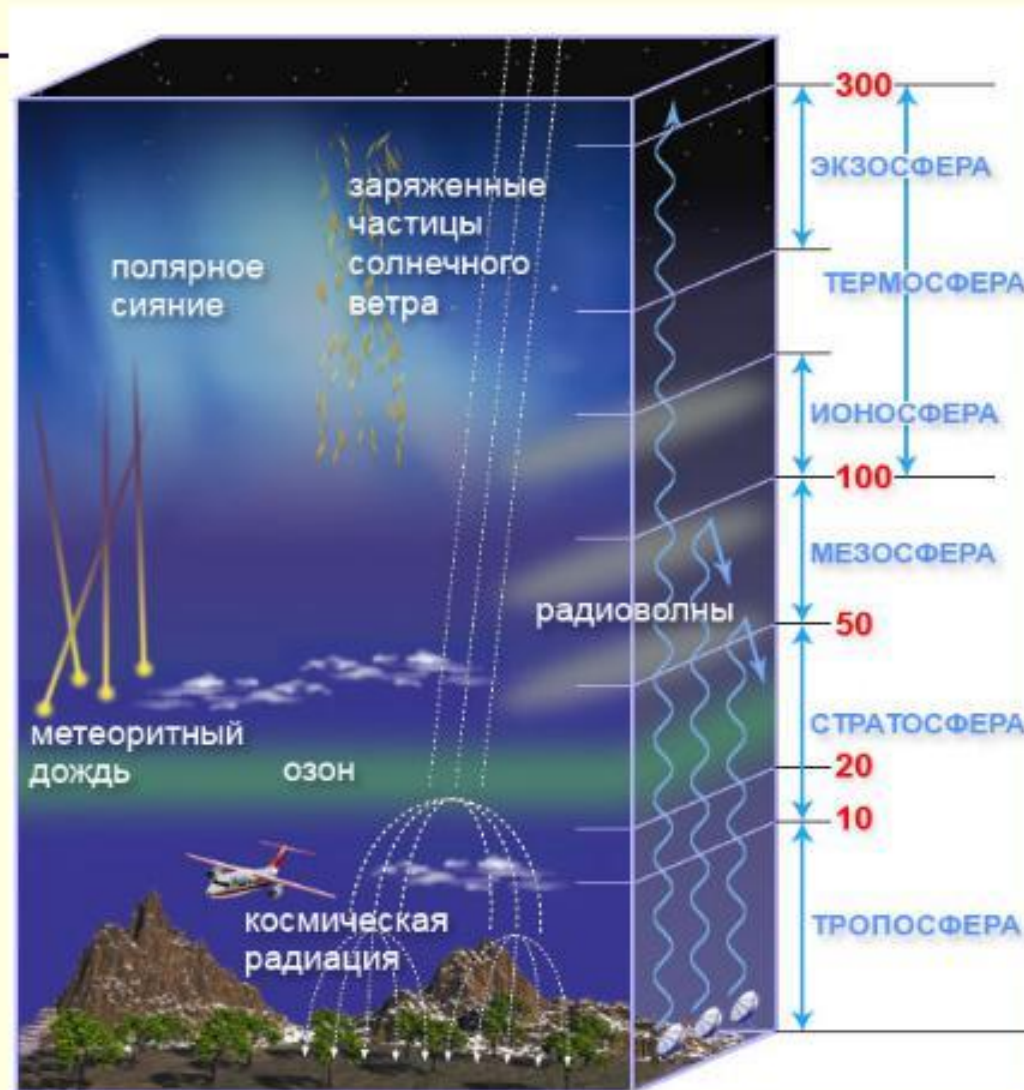


Изменение содержания кислорода в атмосфере в ходе геологической истории

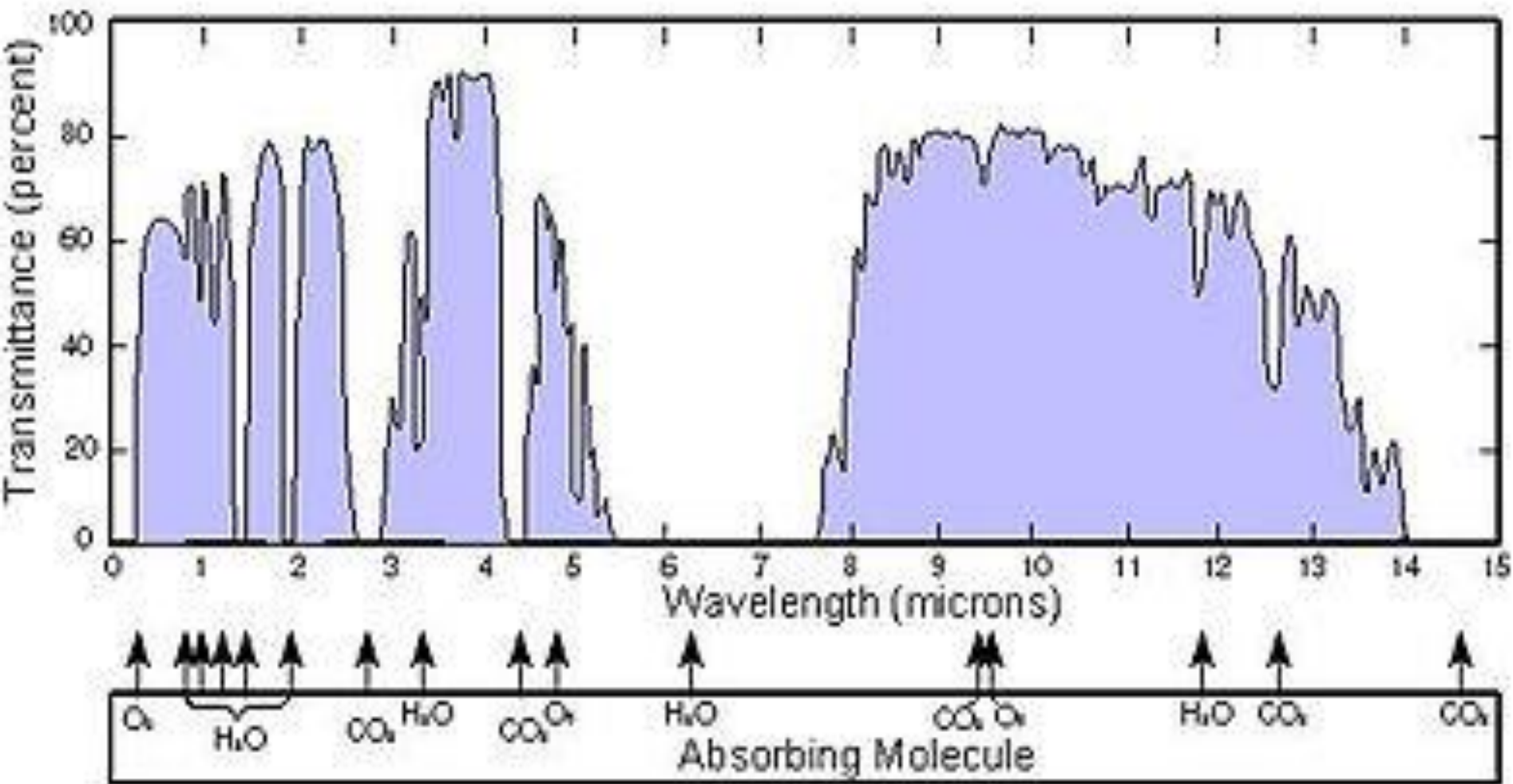


Состав первичной атмосферы: водород, аммиак, водяные пары, метан, углекислый газ.

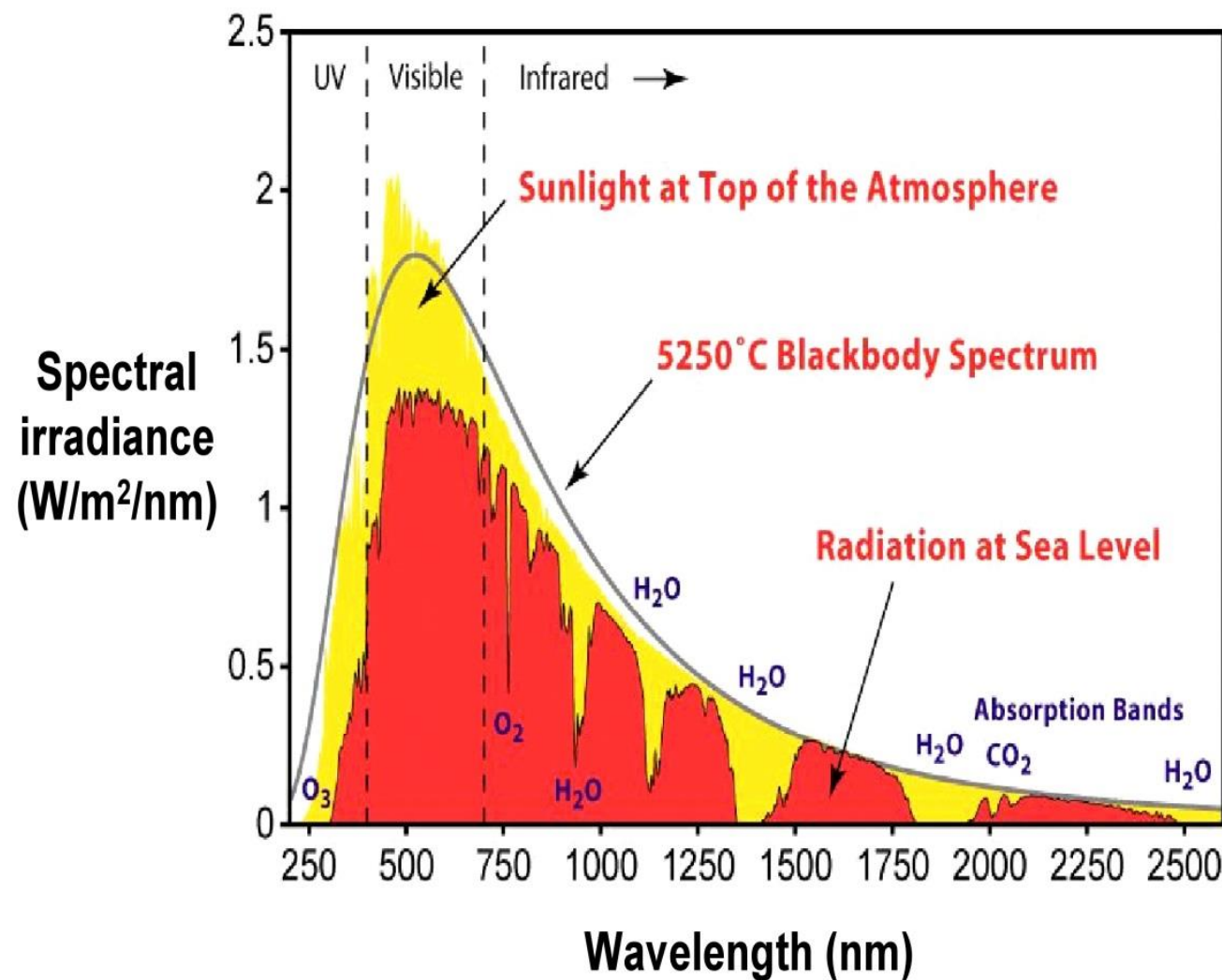
Структура атмосферы Земли



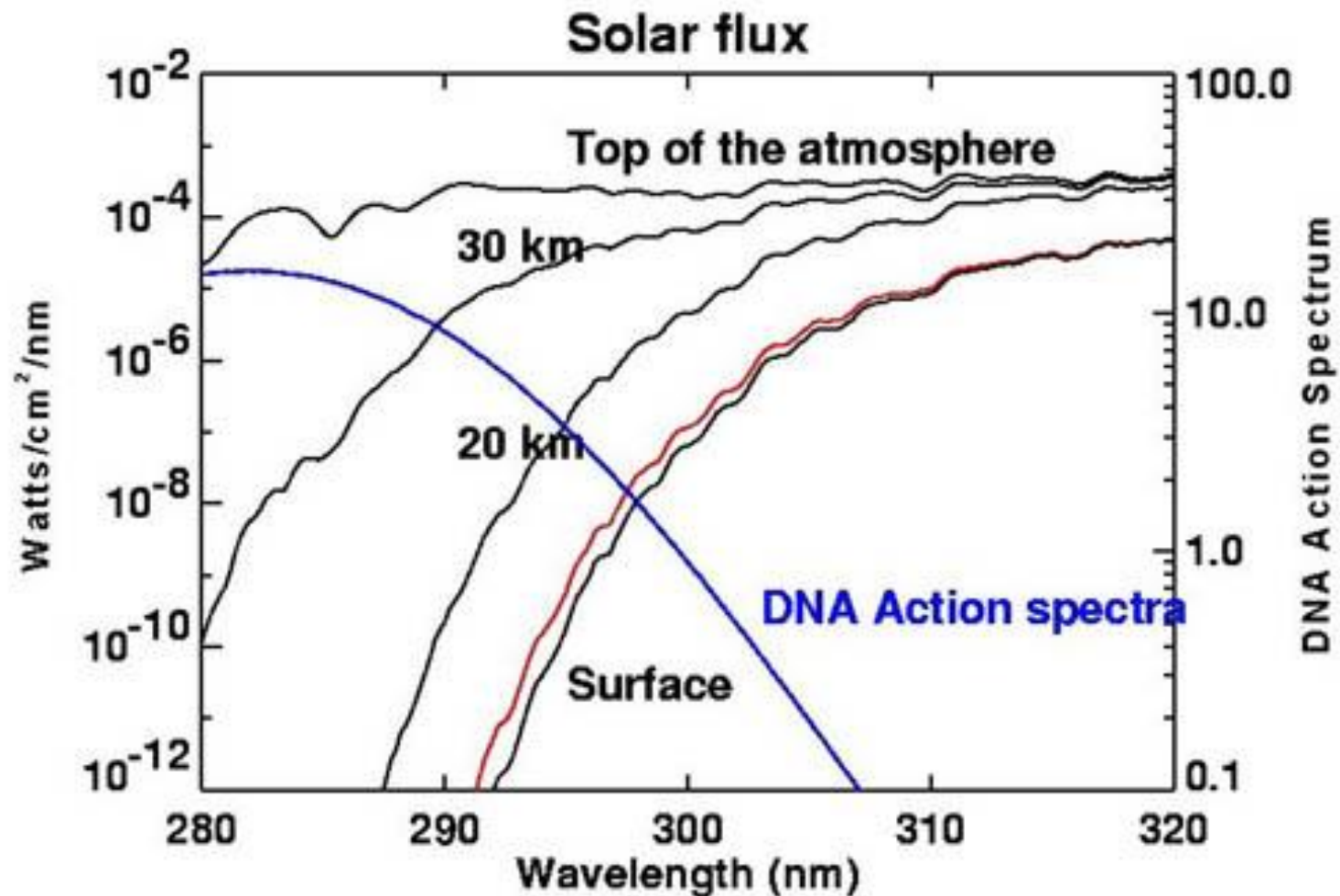
Полосы пропускания атмосферы Земли



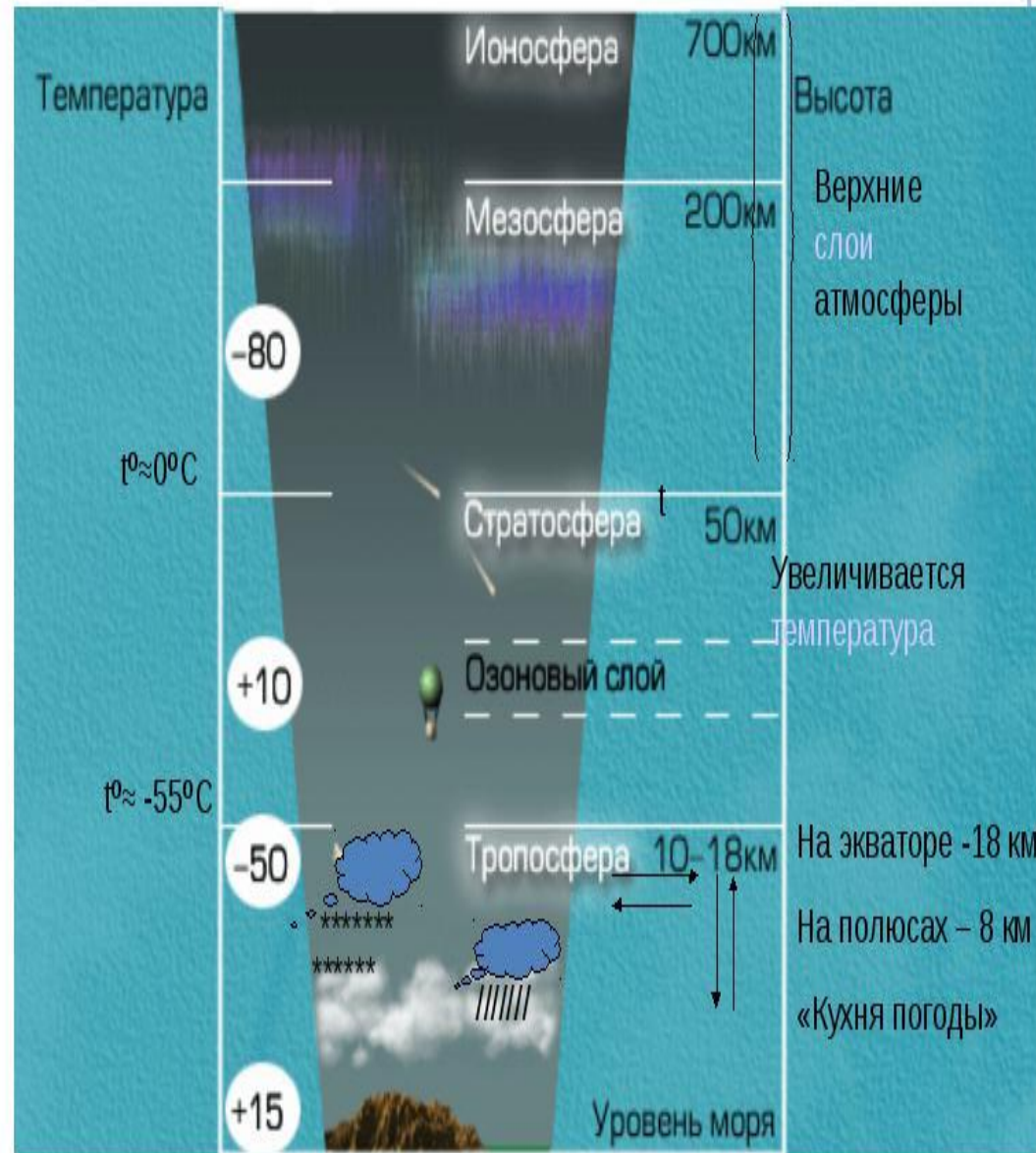
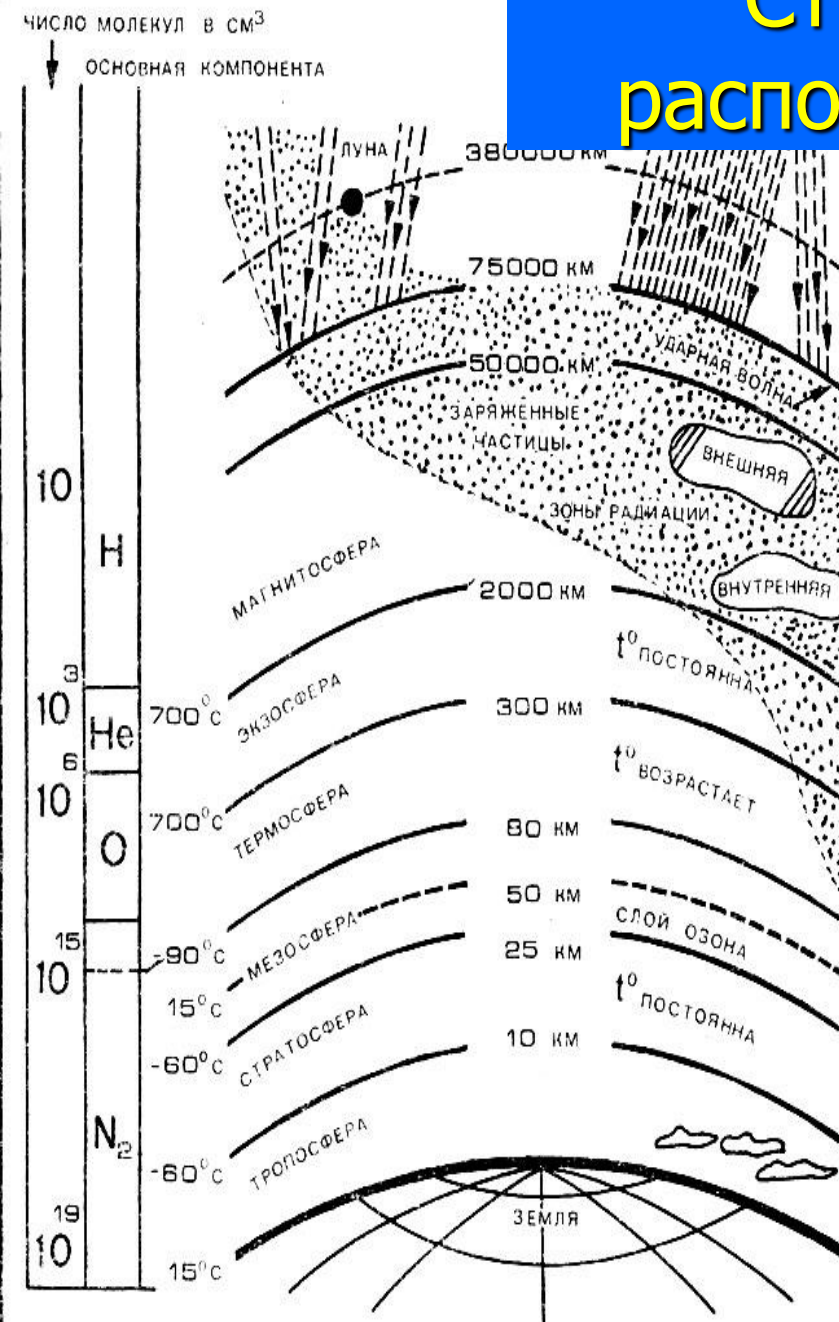
Спектр излучения Солнца и полосы поглощения в атмосфере Земли



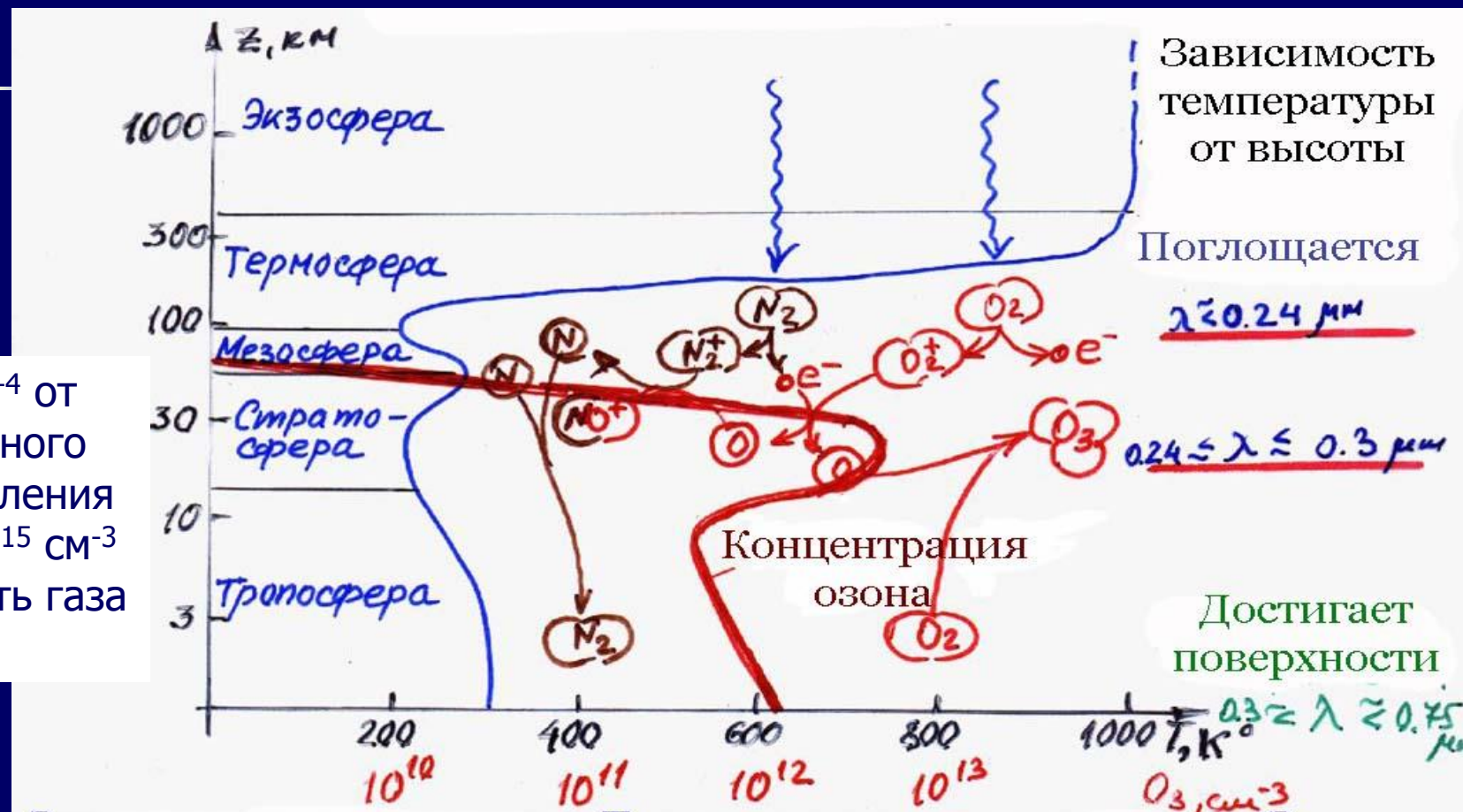
Спектр УФ-излучения, проникающего в атмосфере на различную высоту от поверхности Земли



Структура атмосферы и расположение озонового слоя



Наработка озона в атмосфере



Зависимость температуры T от высоты над поверхностью Земли z .
Химические реакции в верхних слоях атмосферы,
производящие озон.

Толщина при $P=1 \text{ атм}$, $T=0^\circ\text{C}$, $d=3\text{мм}=300 \text{ ед}$.

$10^{-3} - 10^{-4}$ от
нормального
атм. давления
 $10^{16} - 10^{15} \text{ см}^{-3}$
плотность газа

Распределение озона по высоте в атмосфере Земли

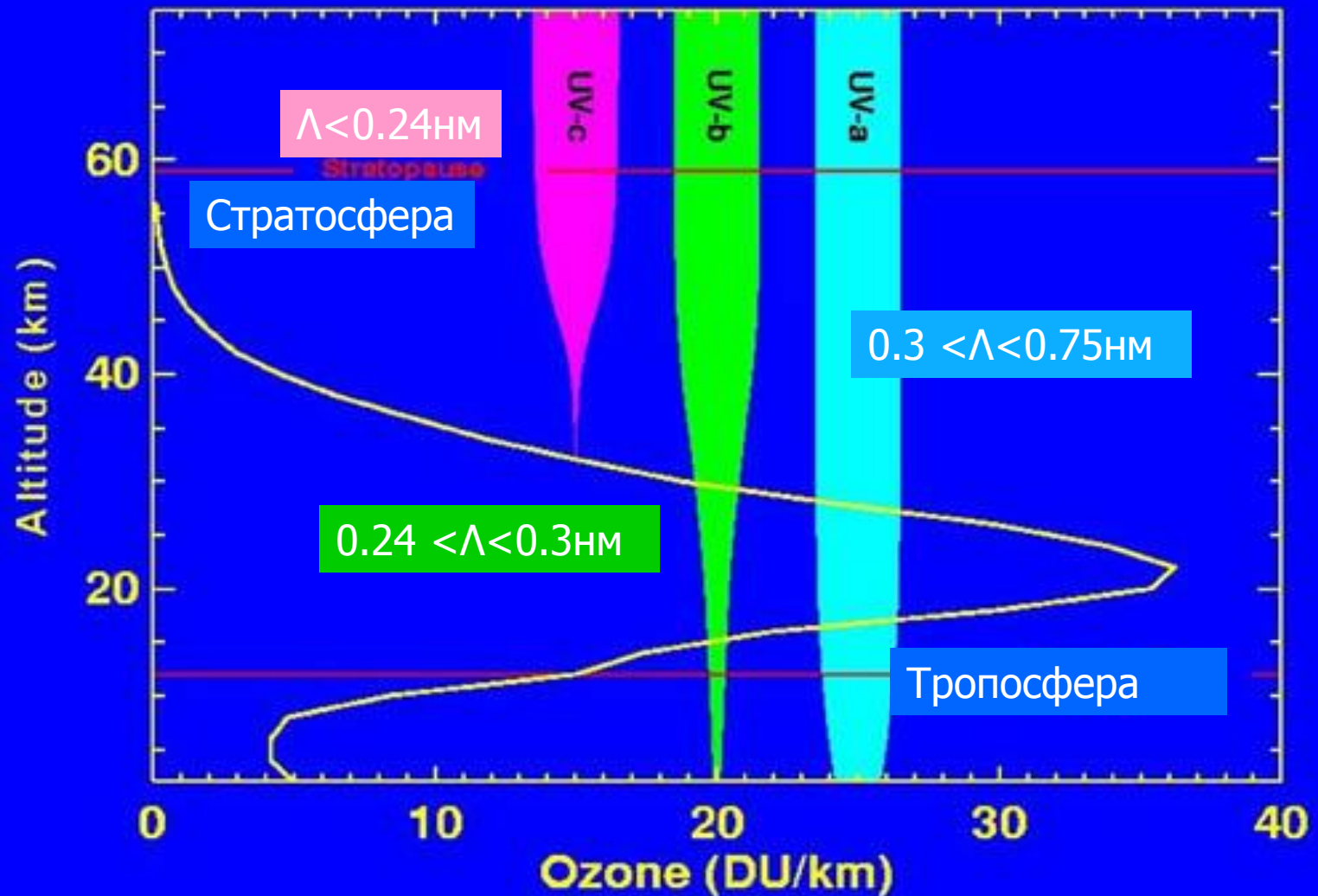
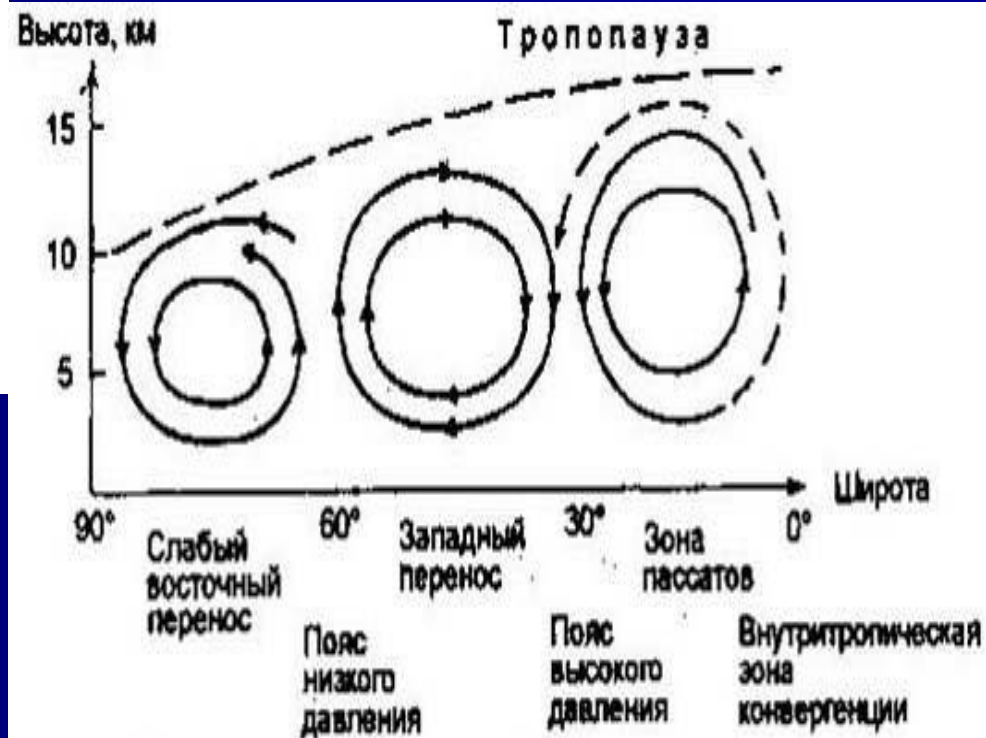
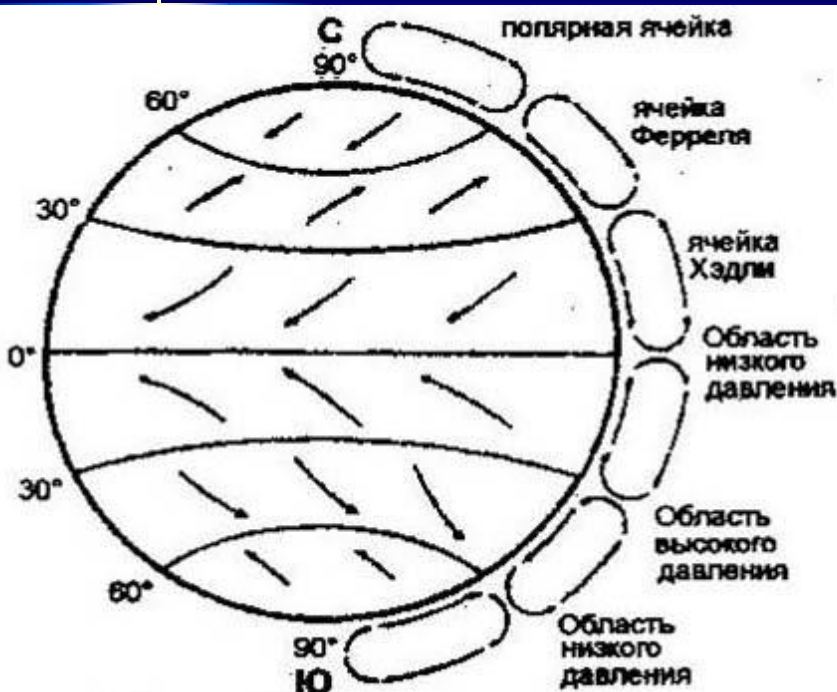
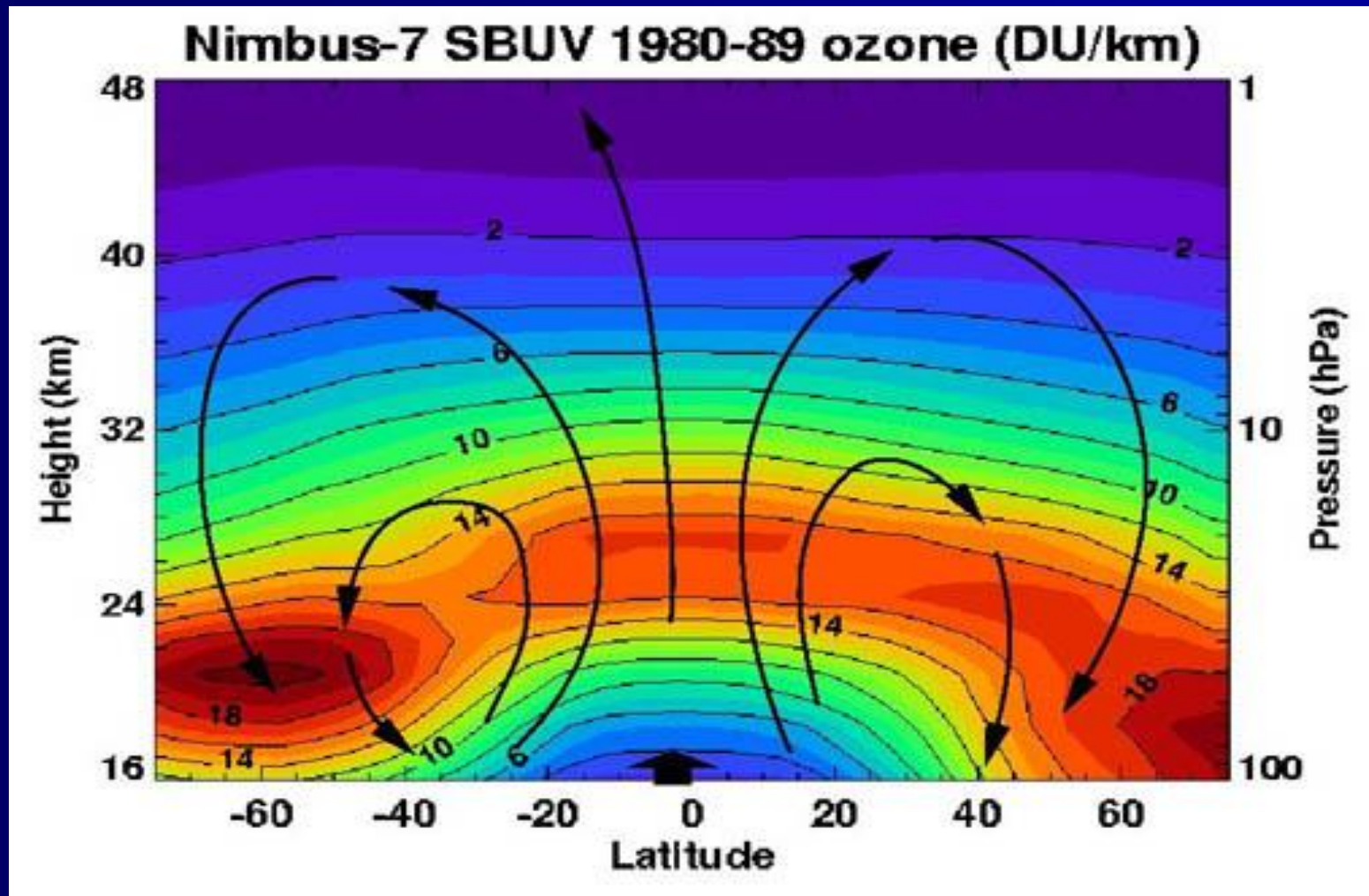


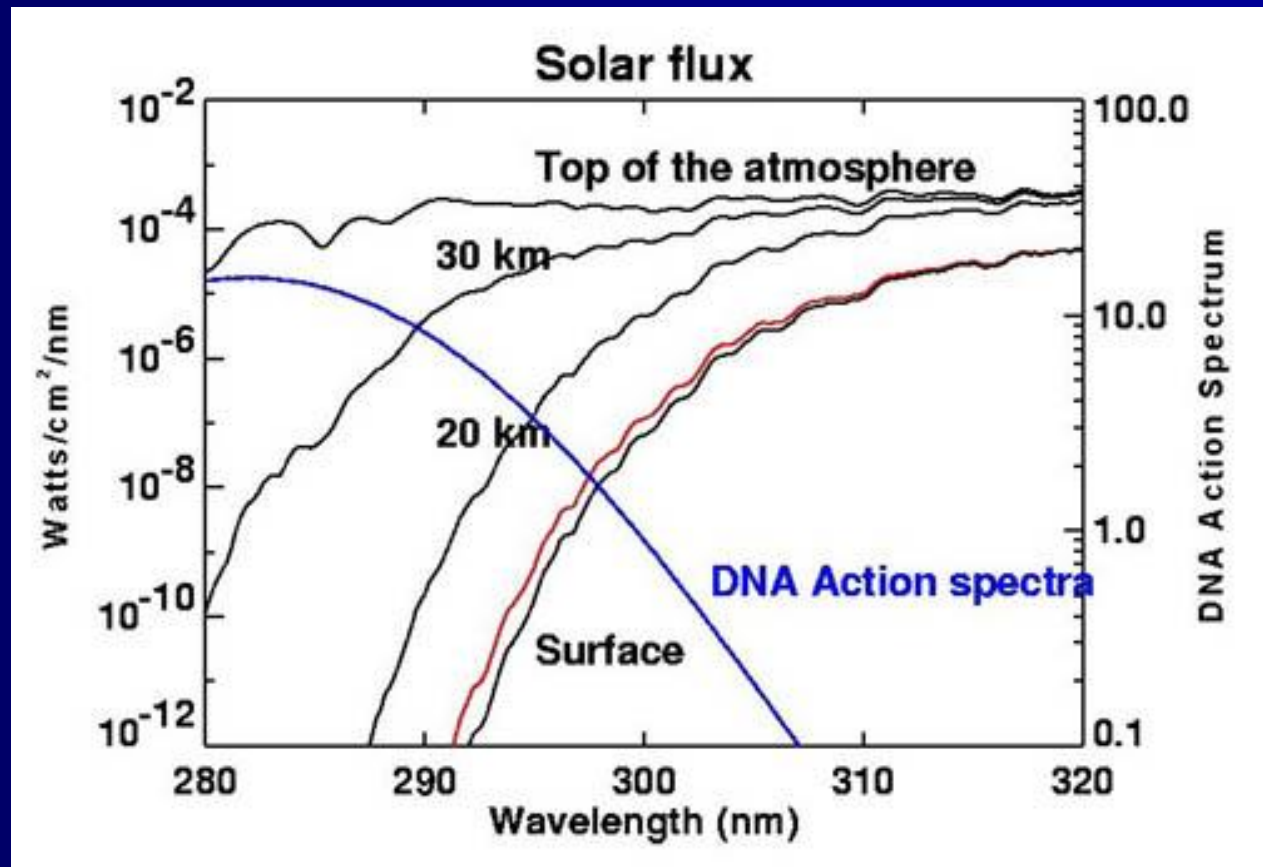
Схема глобальной циркуляции в атмосфере



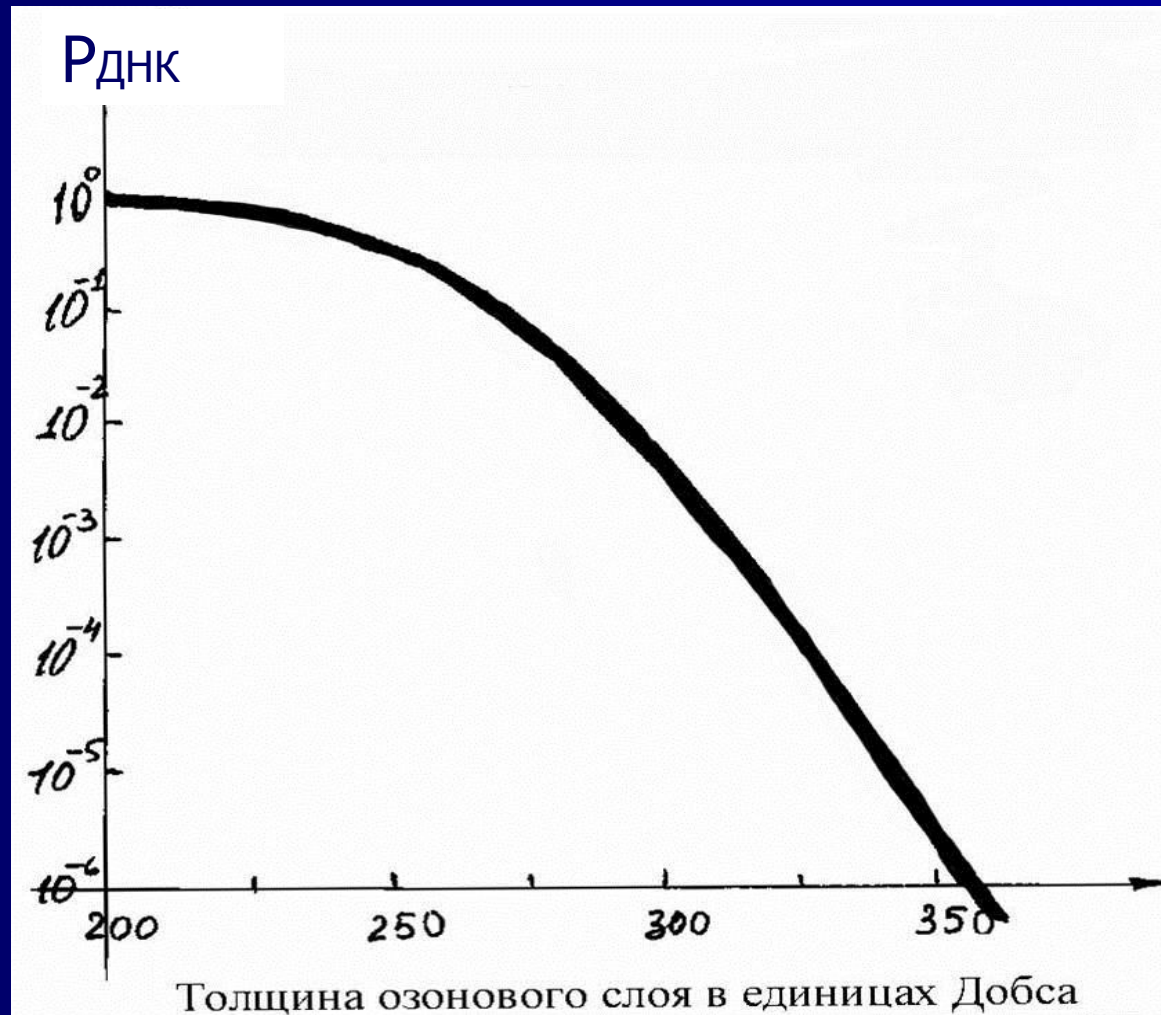
Распределение озона в атмосфере Земли (озоновый слой)



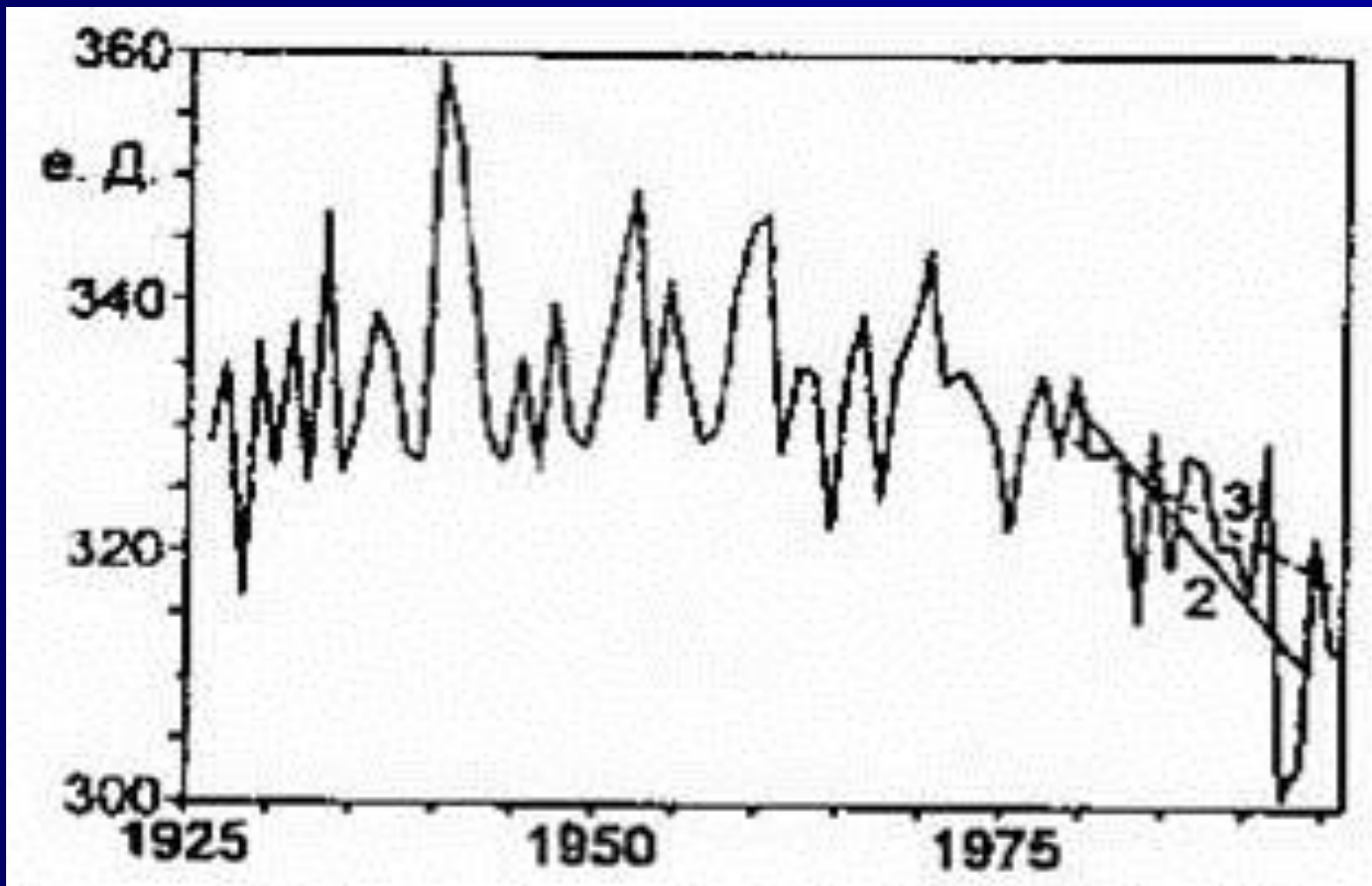
Вероятность повреждения ДНК УФ-излучением с различной длиной волны



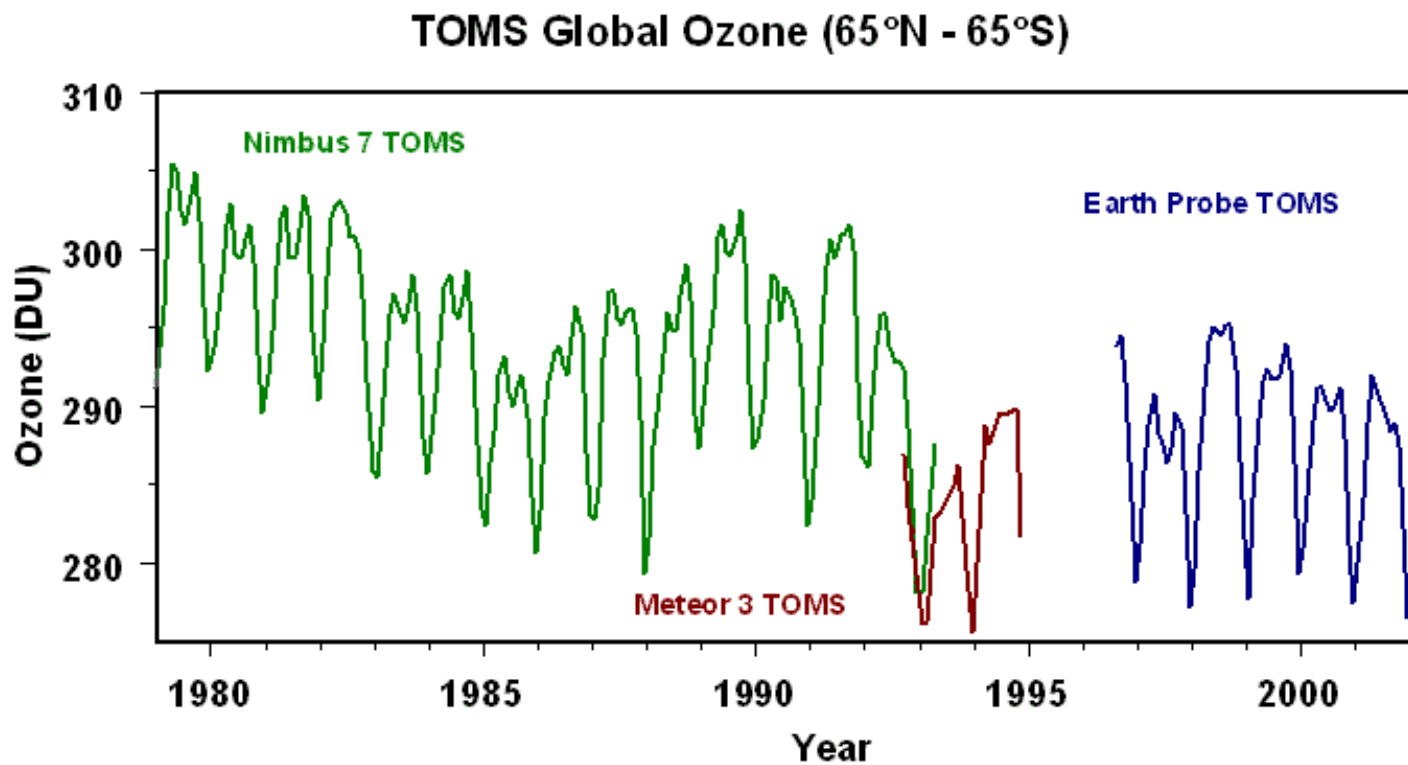
Вероятность повреждения ДНК как функция толщины озонового слоя



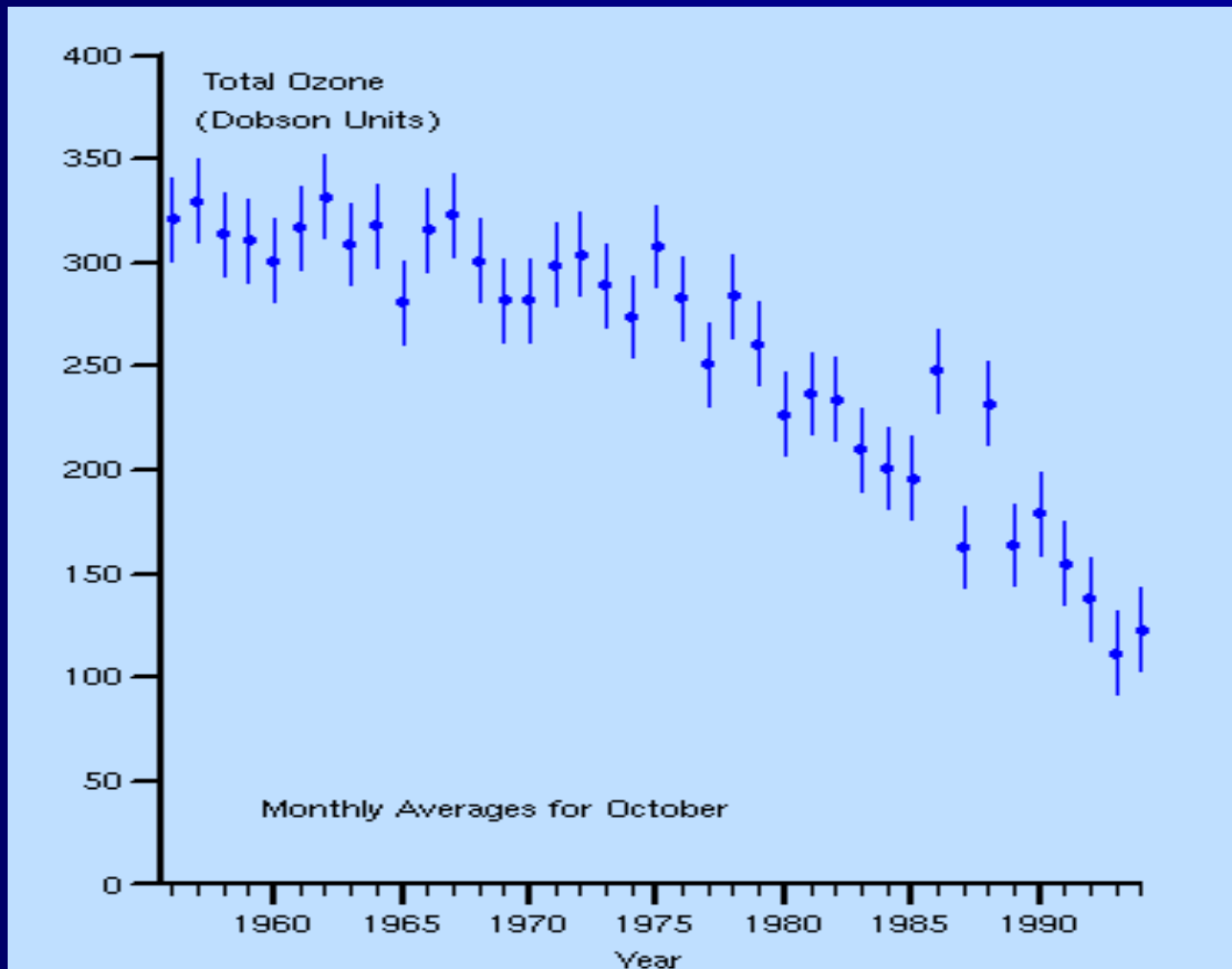
Временной ход среднегодовых значений общего содержания озона



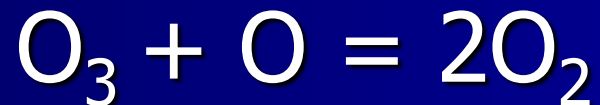
Спутниковые измерения поведения толщины озонового слоя во времени



Изменение по годам толщины озонового слоя в южном полушарии (для месяца октября)



Образование и разрушение озона в верхних слоях атмосферы

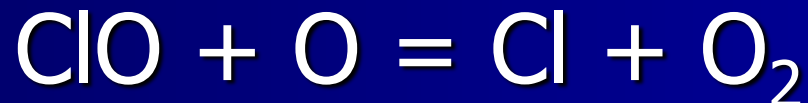


Разрушение озона из-за
присутствия фтор-хлор-углеродов
в атмосфере

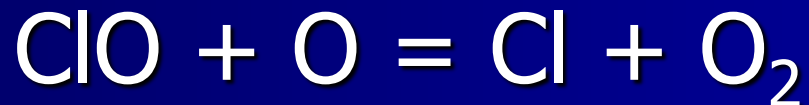
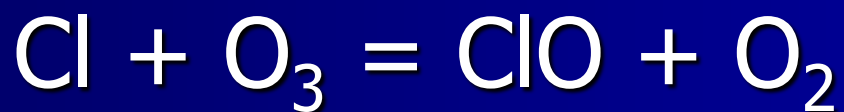
Масштабы присутствия различных фтор-хлор-углеродов в атмосфере

газ	Содержание на 10 ⁹ мол воздуха	Годовой тренд	Время жизни, годы
CFCl ₃ (ХФУ-11)	0,226	4	74
CF ₂ Cl ₂ (ХФУ-12)	0,392	4,3	111
C ₂ F ₂ Cl ₃ (ХФУ-13)	0,032	11,3	90

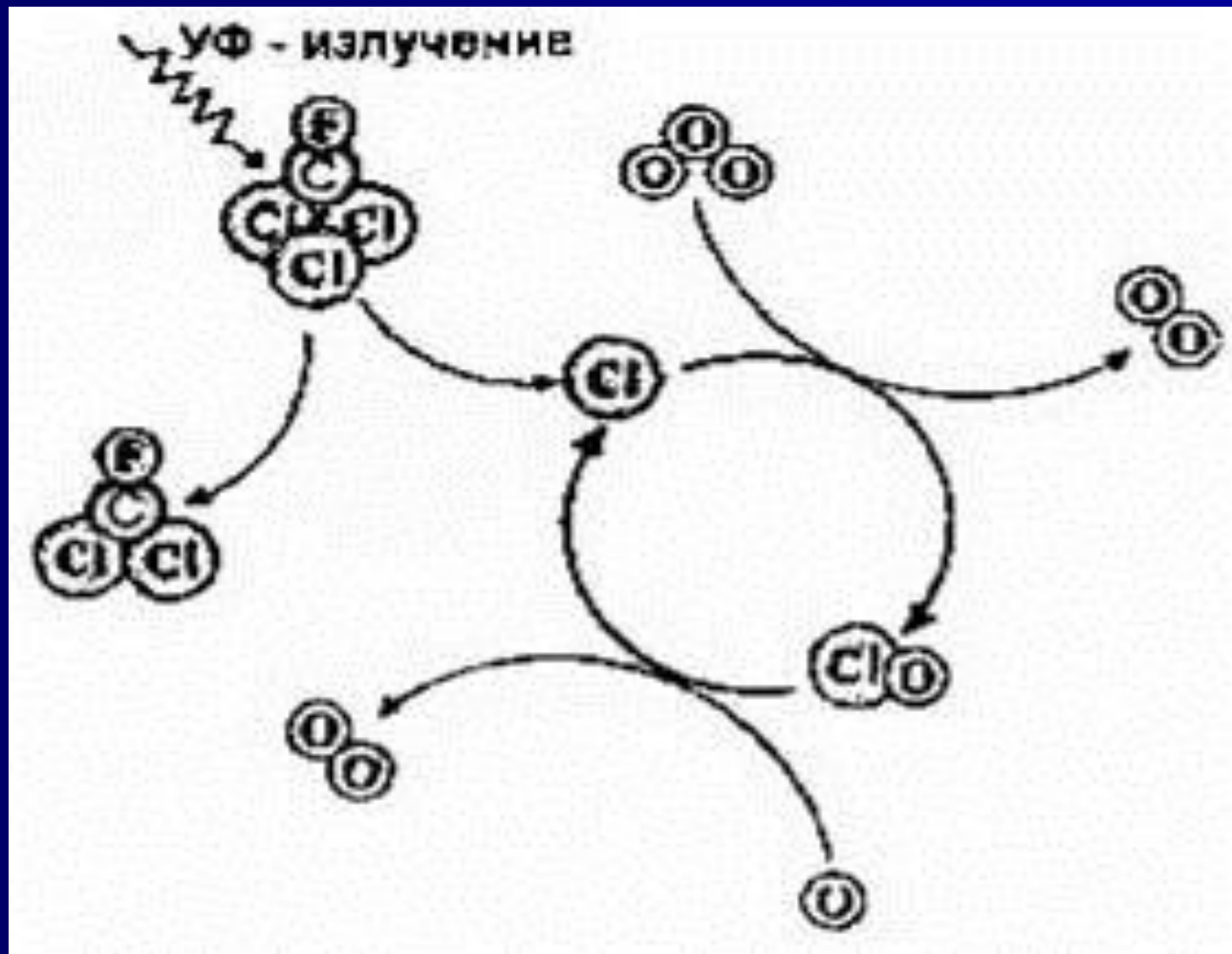
Наработка атомарного хлора из-за присутствия фтор-хлор- углеродов в атмосфере



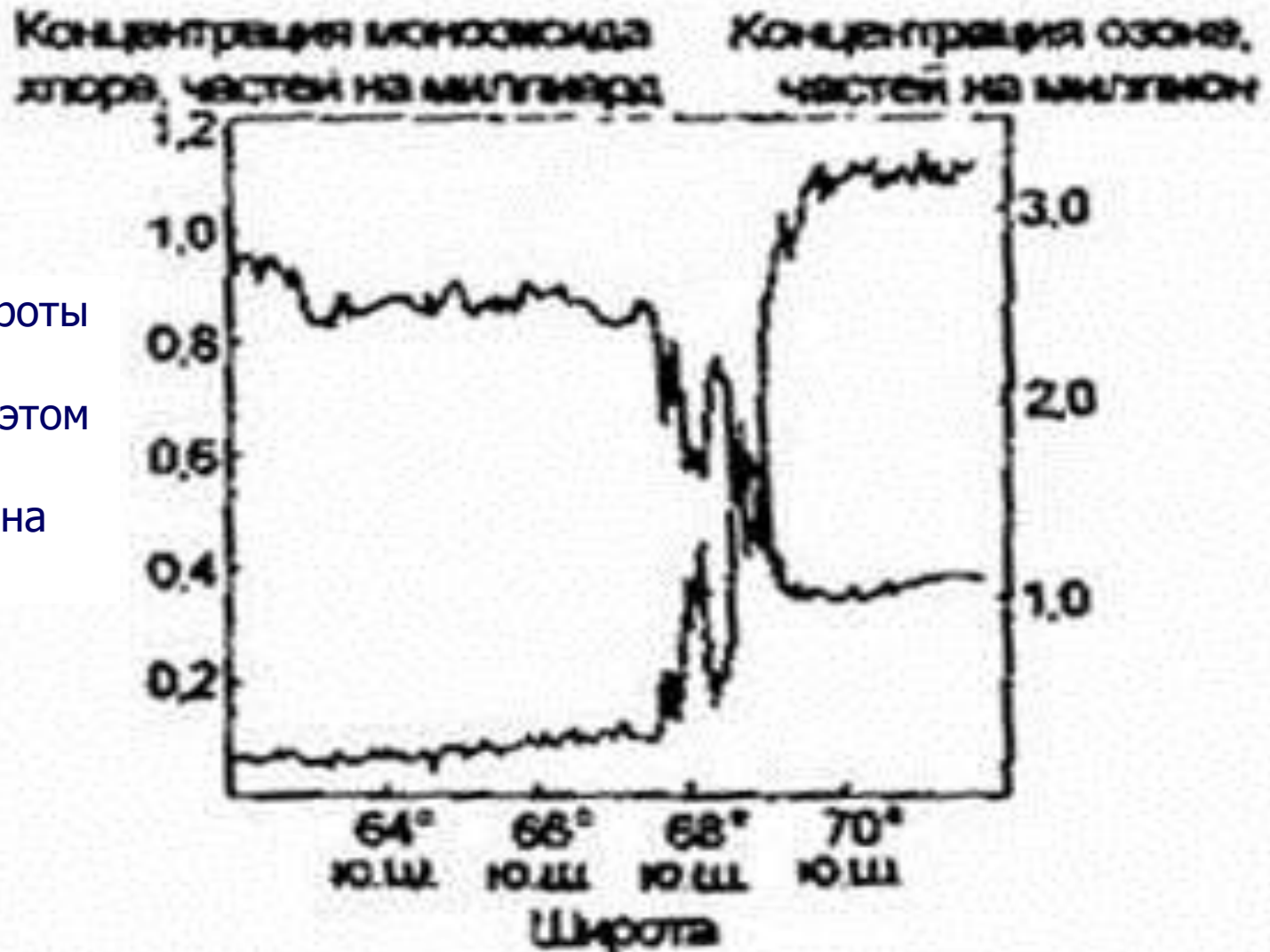
Разрушение озона из-за присутствия атомарного хлора в атмосфере



Картина цикла разрушение озона из-за присутствия фтор-хлор- углеродов в атмосфере



Разрушение озона из-за присутствия хлора в атмосфере



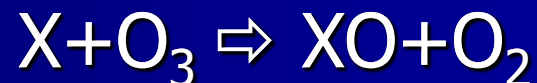
С повышением широты концентрация ClO понижается и при этом происходит рост концентрации озона

Разрушение озона из-за присутствия в атмосфере активных радикалов

$X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{NO}$



$X = \text{OH}$



Разрушение озона из-за присутствия окислов азота в атмосфере

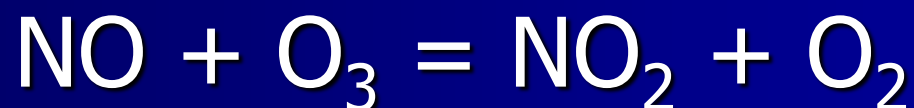
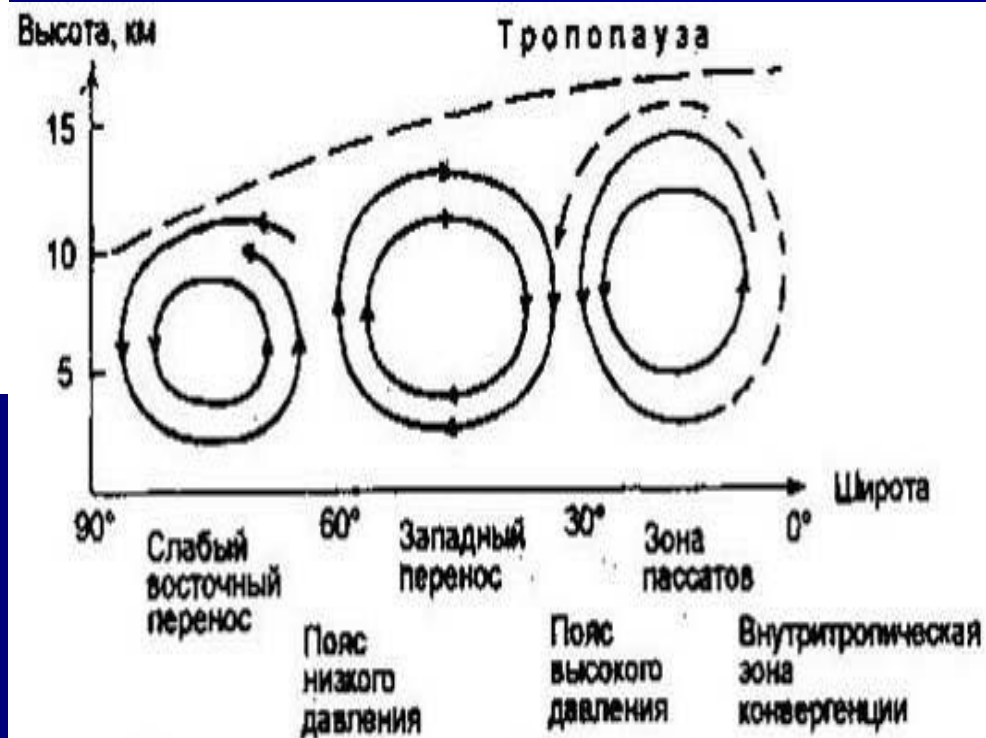
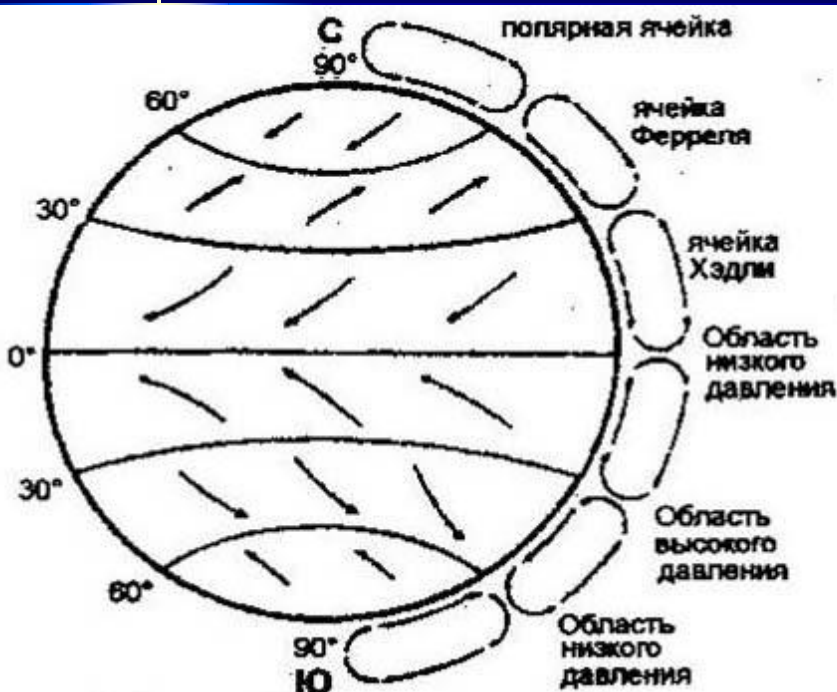
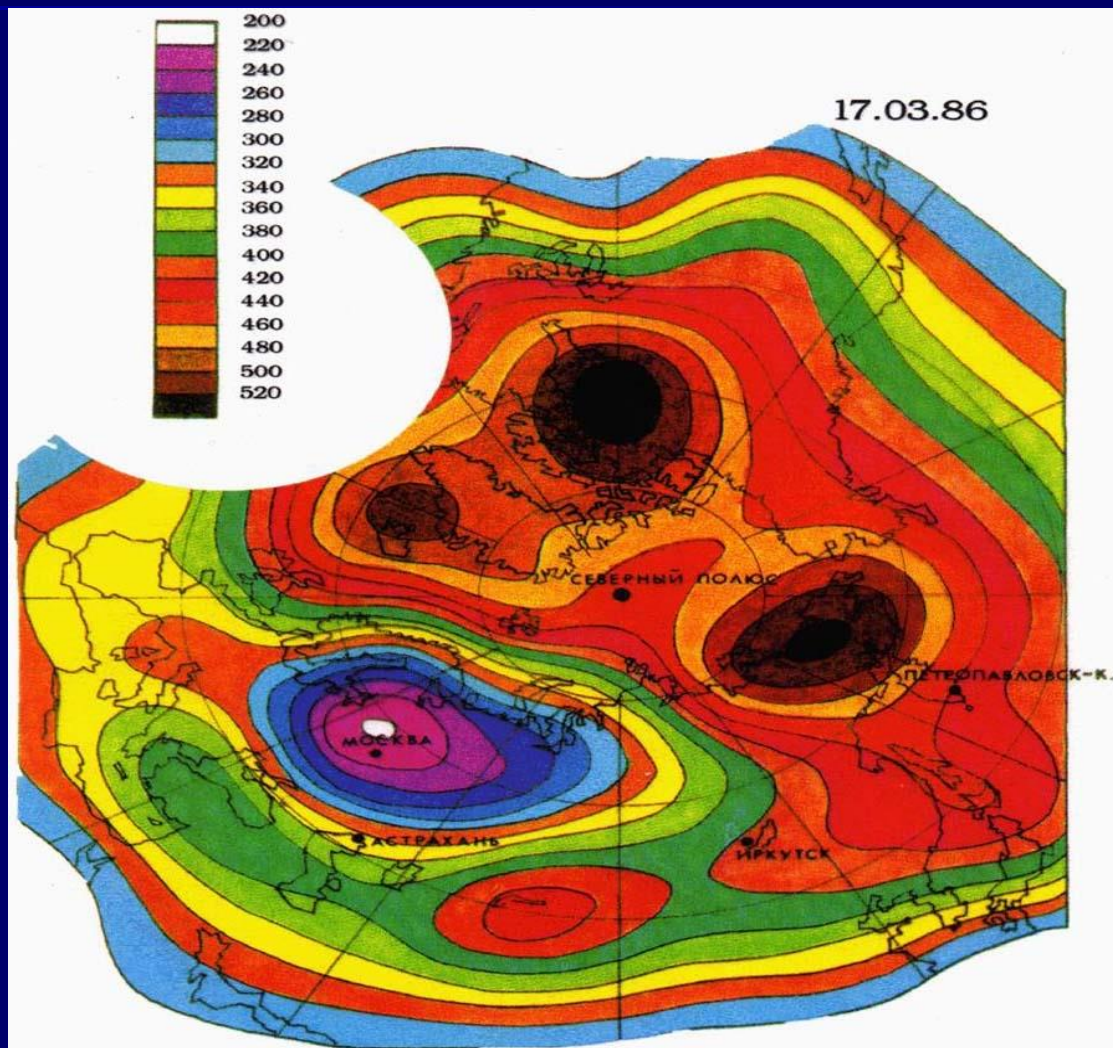


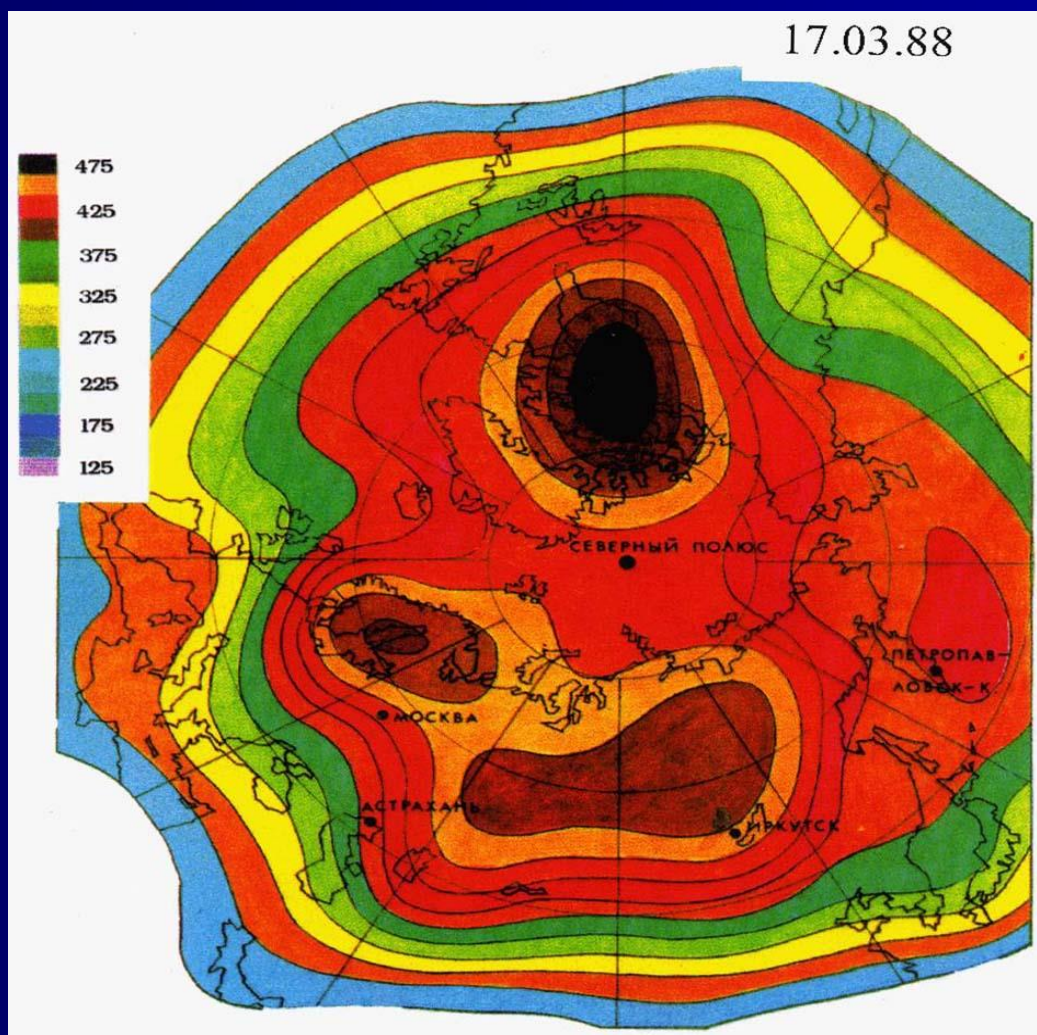
Схема глобальной циркуляции в атмосфере



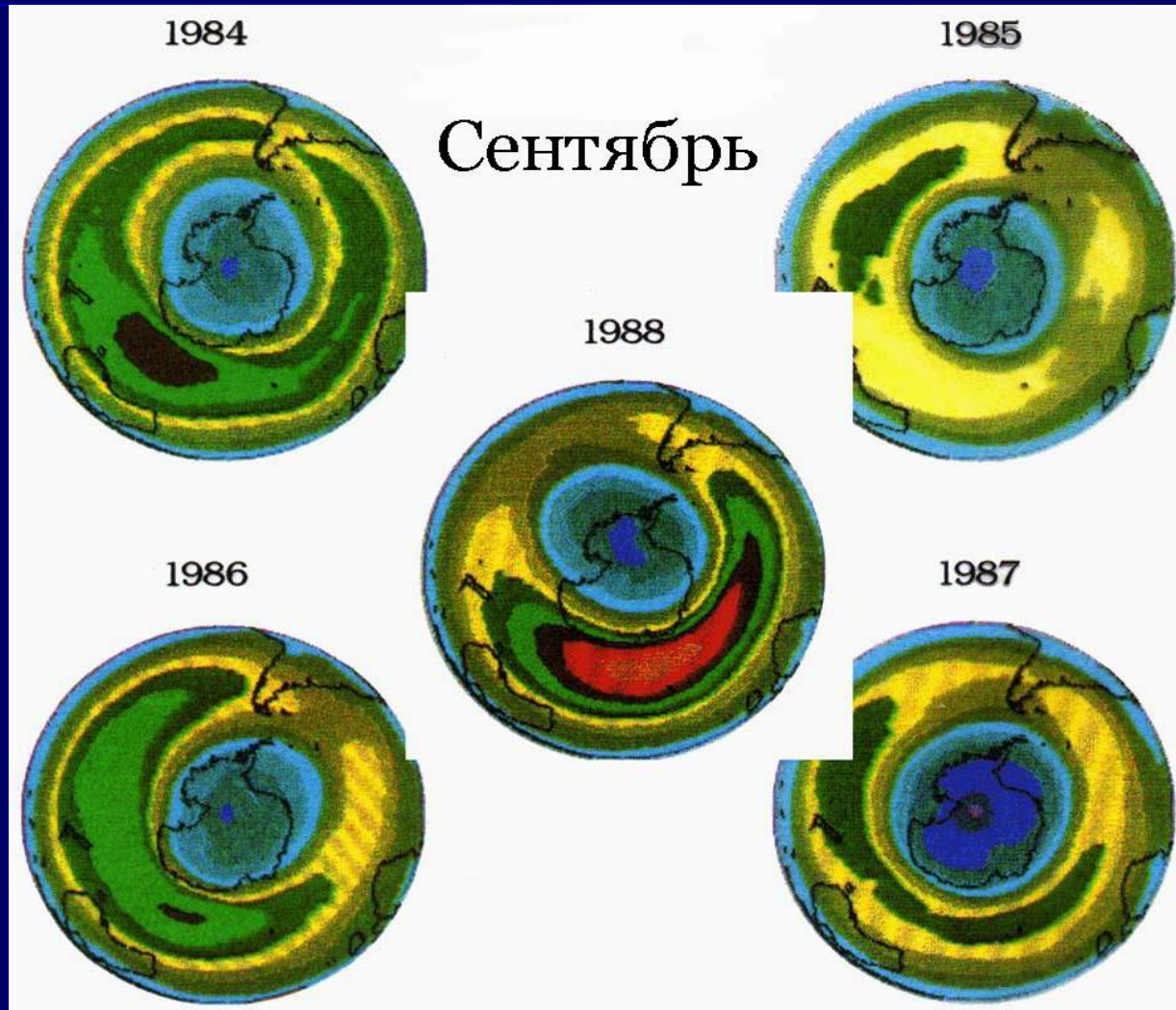
Распределение озона над северным полушарием весной



Распределение озона над северным полушарием весной

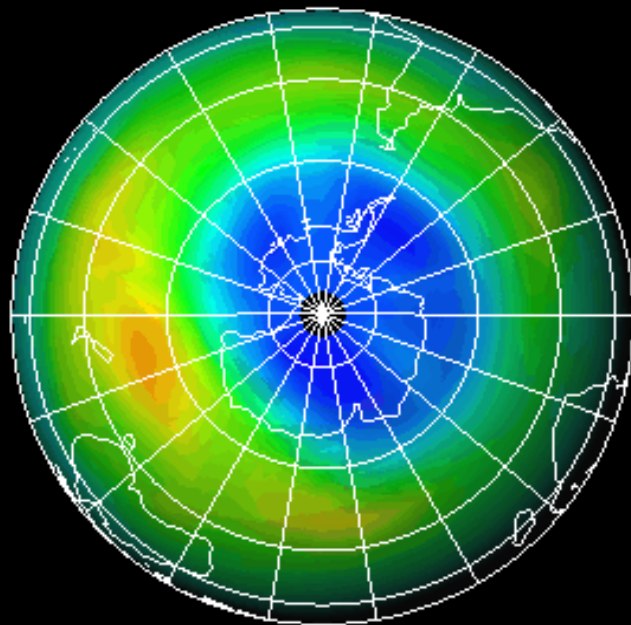


Формирование озоновой дыры над Антарктидой

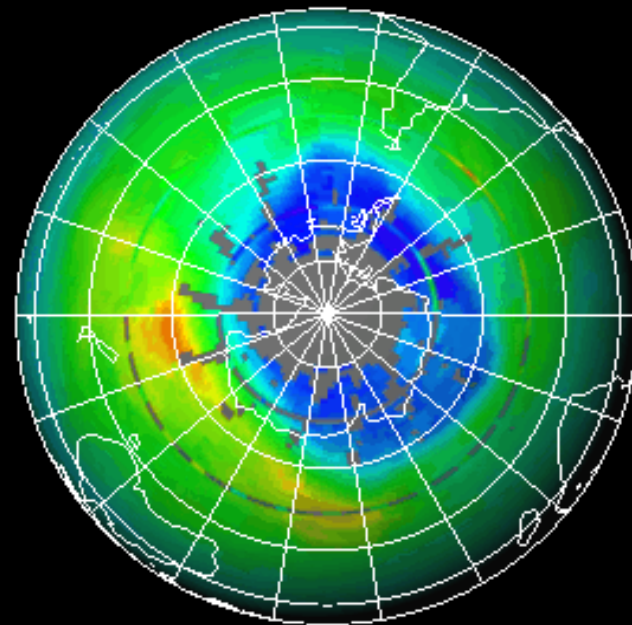


Сопоставление результатов компьютерного моделирования с данными спутниковых измерений

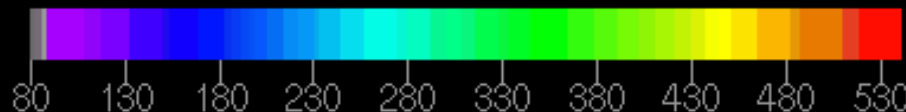
Ozone Column Amount (DU): 11 Sep 1994



Model Data

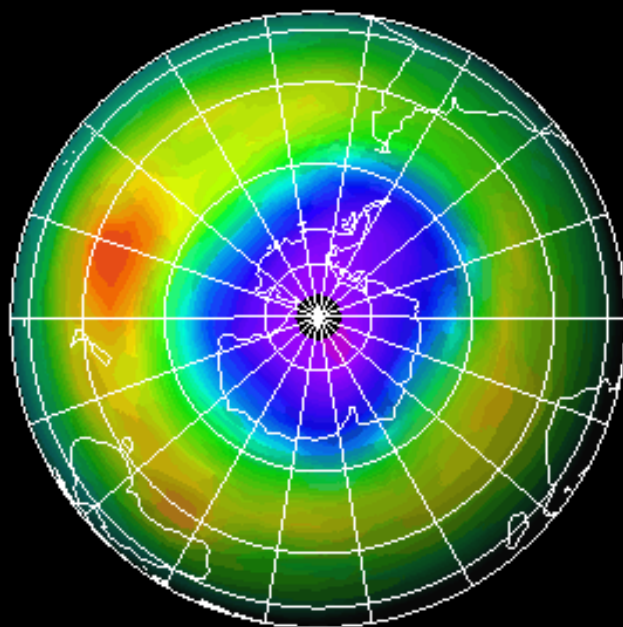


TOMS Satellite Data

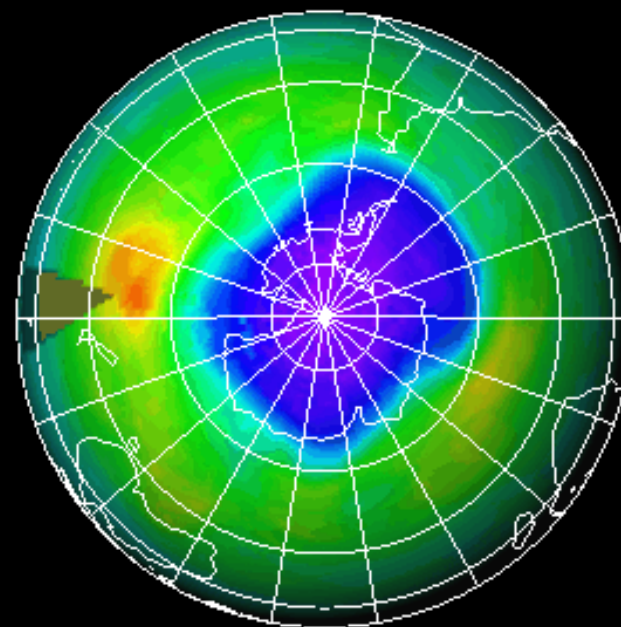


Сопоставление результатов компьютерного моделирования с данными спутниковых измерений

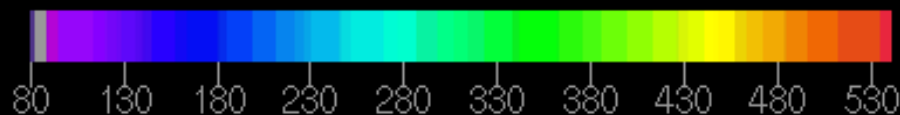
Ozone Column Amount (DU): 01 Oct 1994



Model Data

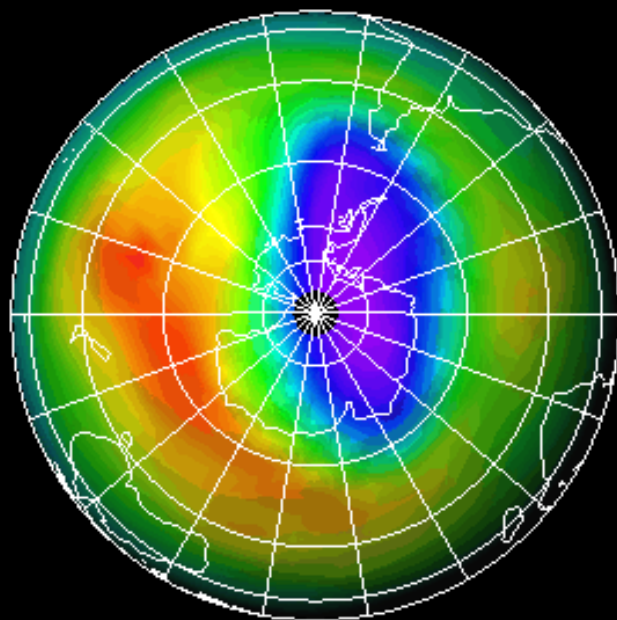


TOMS Satellite Data

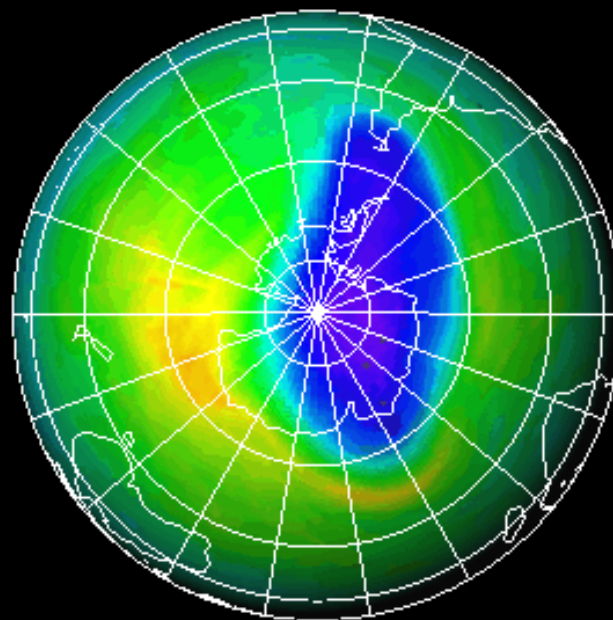


Сопоставление результатов компьютерного моделирования с данными спутниковых измерений

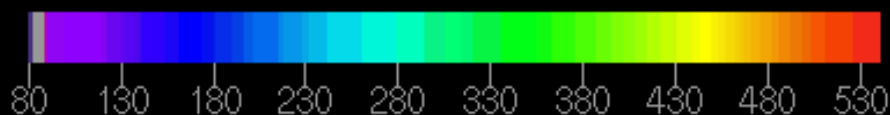
Ozone Column Amount (DU): 17 Oct 1994



Model Data



TOMS Satellite Data

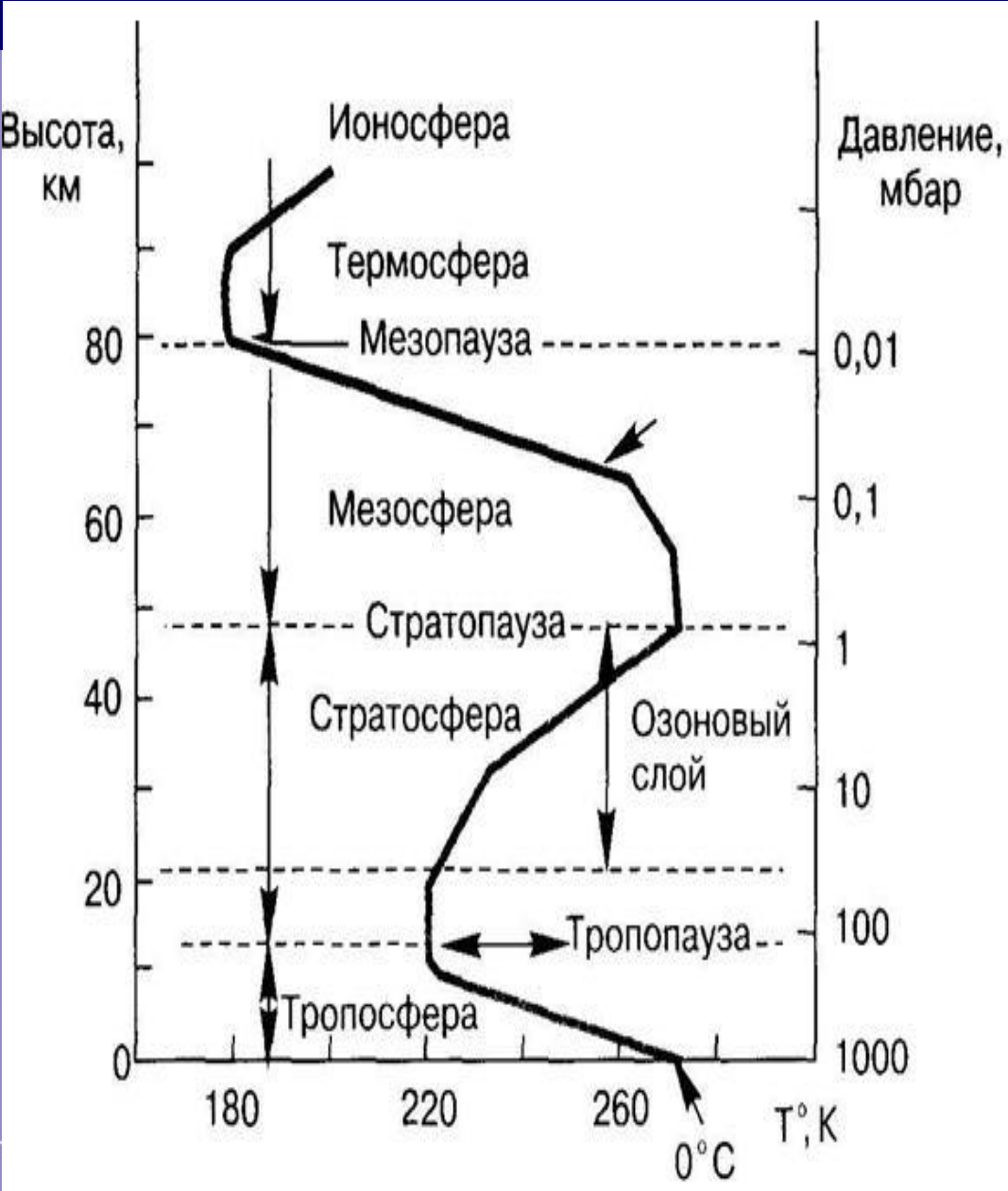
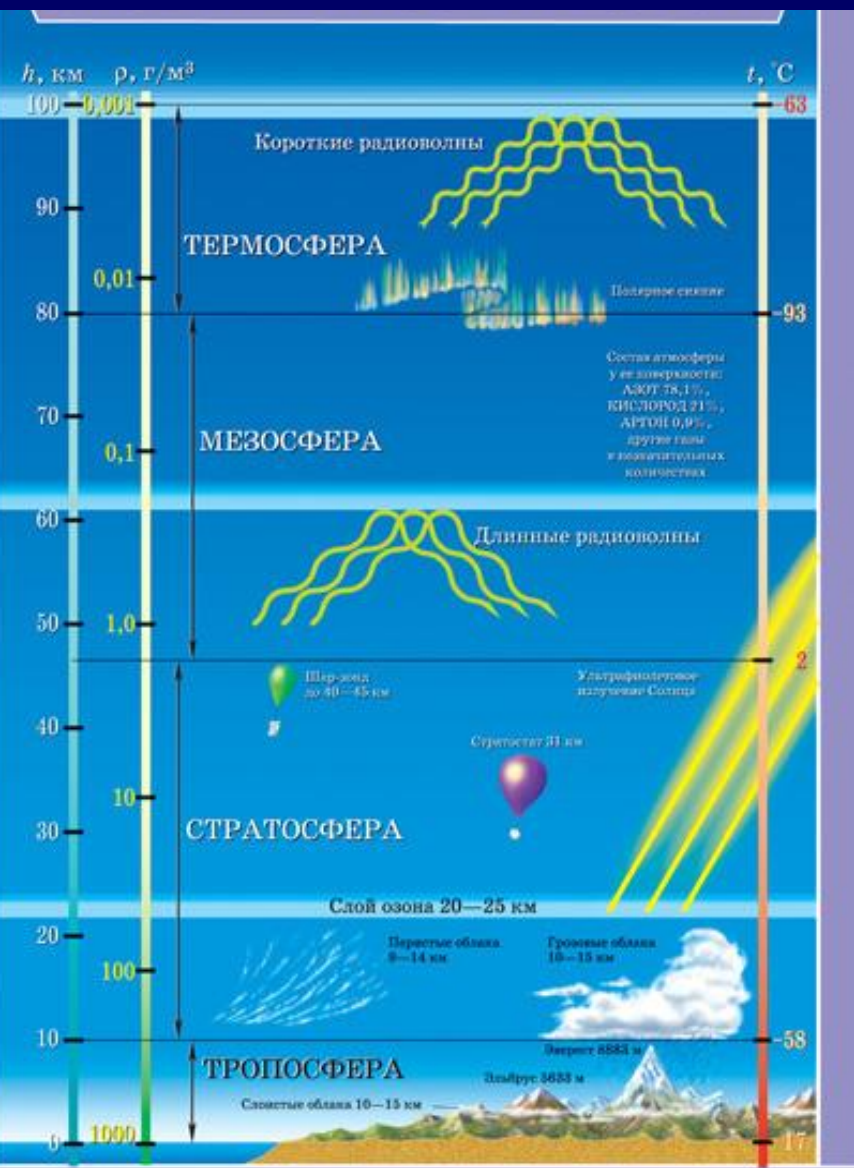


Сокращение производства ХФУ



График стратегий поэтапного сокращения
производства и потребления хлорфторуглеродов в России

■ Строение атмосферы



СВЧ-пробой атмосферного воздуха

$E_{cr} = 30 \cdot p \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{1 + (\omega/\nu_c)^2}$; V/cm – амплитуда критического поля пробоя, где в этом и в аналогичных выражениях давление p имеет размер Torr, ω ; $1/s$ – круговая частота поля, и $\nu_c = 4 \cdot 10^9 \cdot p$; $1/s$ – частота столкновений электронов с молекулами воздуха; $\nu_a = 2 \cdot 10^4 \cdot p$; $1/s$ – эффективная частота прилипания

В результате проведения экспериментов выяснилась существенная роль наличия начальных свободных электронов в пробойной области. При естественном уровне начальной ионизации газа и пробое в импульсных полях наблюдается статистический разброс пробойного уровня поля E_{br} и некоторой особенности процесса пробоя в нарастающем во времени t поле. На **Рис.2** приводятся иллюстрирующие это опытные данные. **Рис.2a** соответствует работающей в режиме бегущей волны установке с $\lambda = 8.9$ см, а **Рис.2b** – работающей в режиме открытого резонатора установке с $\lambda = 4.3$ см.

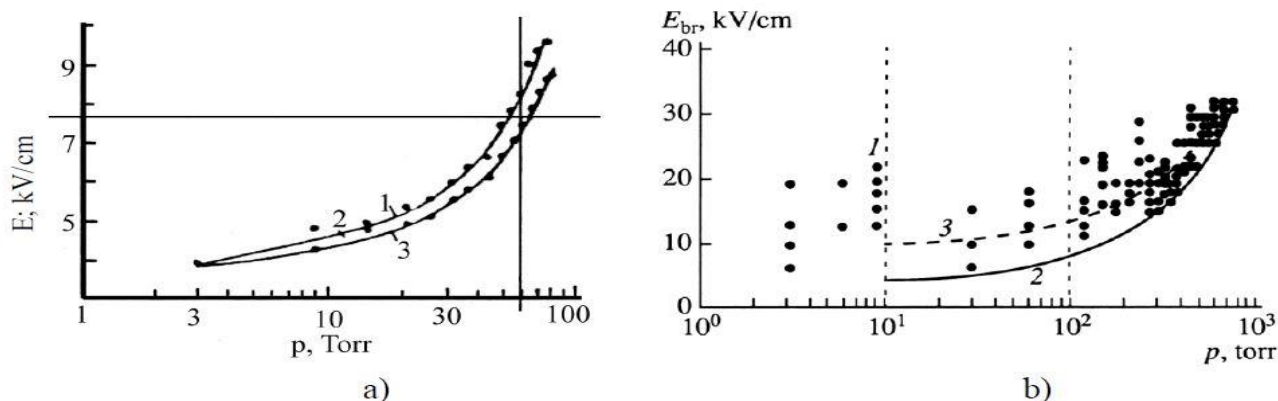


Рис.2. Поле пробоя воздуха при естественном уровне его начальной ионизации

СВЧ-пробой атмосферного воздуха

На *Рис.3* приведены характерные фотографии СВЧ-разрядов в диффузном виде при $p \approx 30$ Торг (левая) и стримерном виде при $p \approx 100$ Торг. На них излучение поступает слева, вектор E_0 вертикален, характерный поперечный размер разрядной области имеет масштаб десяти сантиметров.

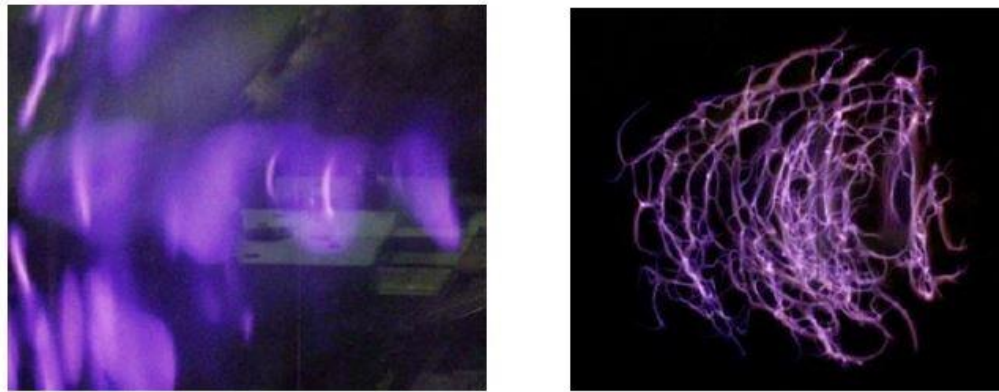


Рис.3. Диффузный и стримерный безэлектродный свободно локализованный СВЧ-разряд в фокусе квазиоптического ЭМ-пучка

В этой главе описываются результаты экспериментального исследования некоторых свойств таких СВЧ-разрядов. Так, измерения средней n_e по разрядной области при величинах p от 12 до 120 Торг дали ее значения от $3.5 \cdot 10^{11}$ до $3.5 \cdot 10^{12}$ $1/\text{cm}^3$, соответственно. Рост температуры газа ΔT в области

СВЧ-пробой атмосферного воздуха

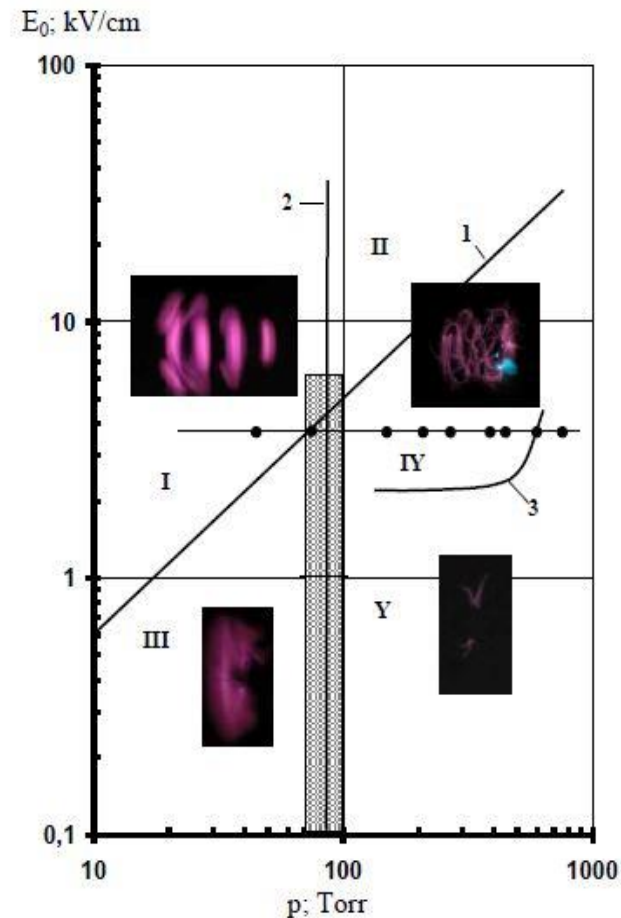
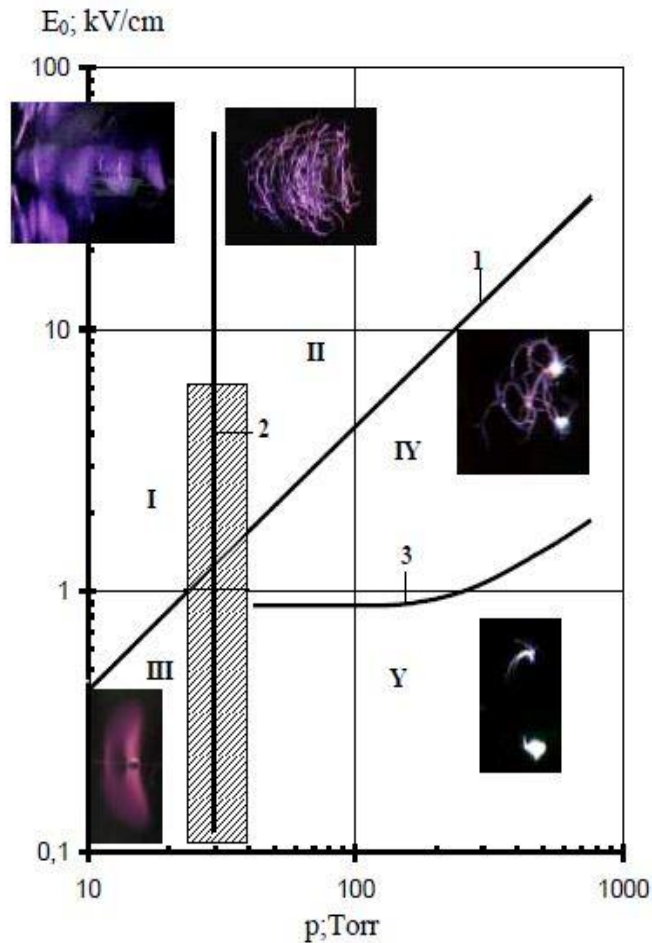
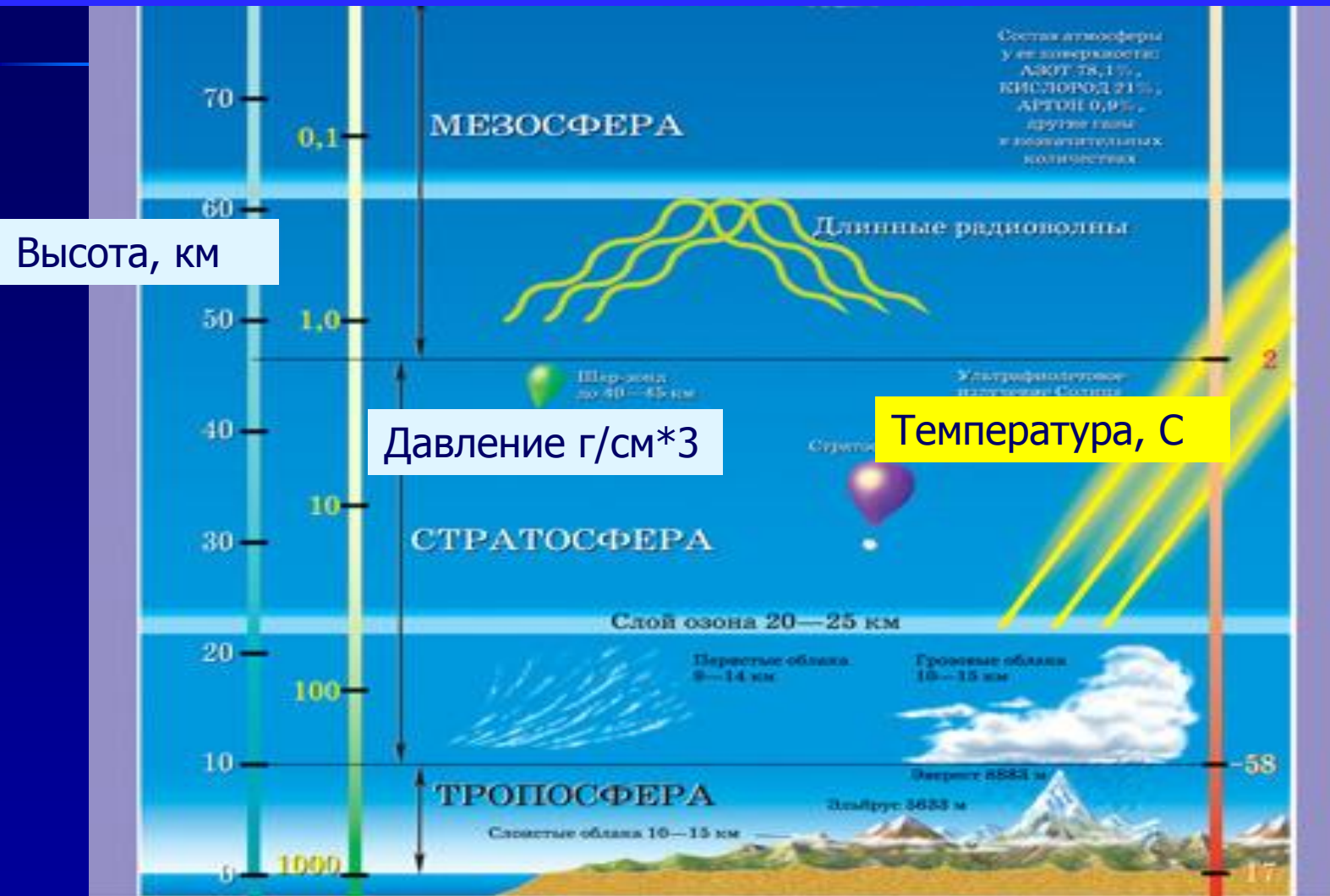


Рис.6. Области реализации различных видов СВЧ-разряда в зависимости от уровня поля E_0 и давления воздуха p при $\lambda = 8.9$ см (левая) и $\lambda = 2.5$ см

Распределение давления и температуры атмосферы по высоте



Использование СВЧ-излучения для ликвидации фреонов в атмосфере

Разрушение молекул при диссоциативном
прилипании (на $h \leq 15$ км)

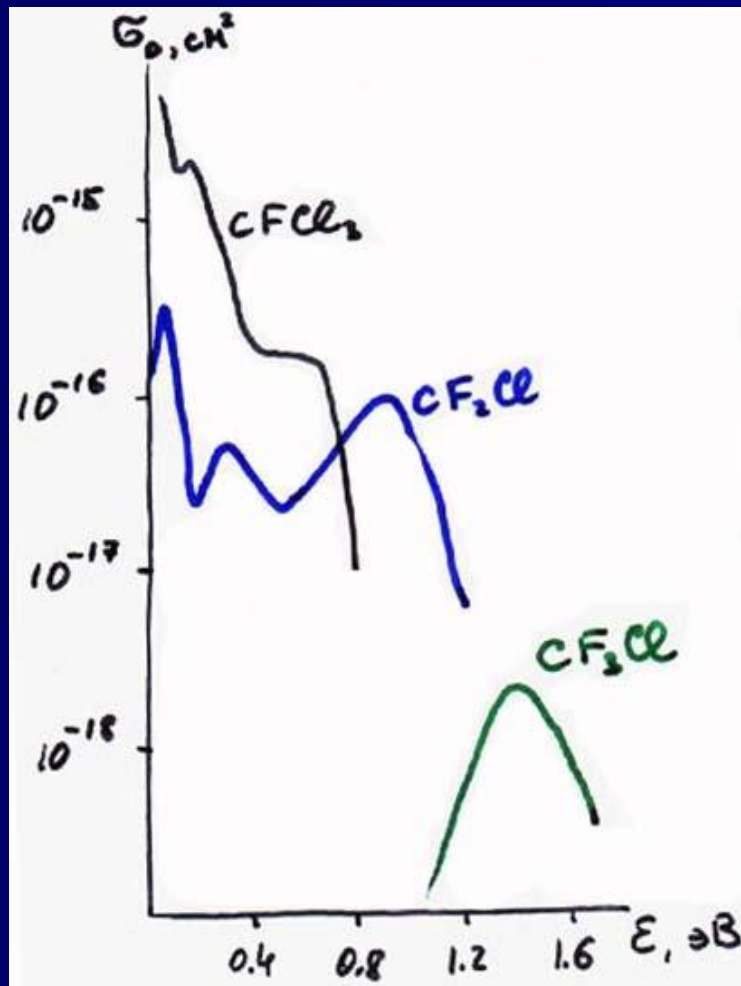


Энергия сродства электрона к Cl $\varepsilon_a = 3,8 \pm 0,1 \text{ эВ}$

Диссоциации CFCl_3 $\varepsilon_d = 3,3 \pm 0,1 \text{ эВ}$

CFCl_2 $\varepsilon_d = 3,5 \pm 0,1 \text{ эВ}$

Использование СВЧ-излучения для ликвидации фреонов в атмосфере



$$\sigma_1 v = 3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\sigma_2 v = 5 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$E_{\text{Cl}^-} > E_{\text{дисс}}$$

Использование СВЧ-излучения для ликвидации фреонов в атмосфере

Параметры модуля

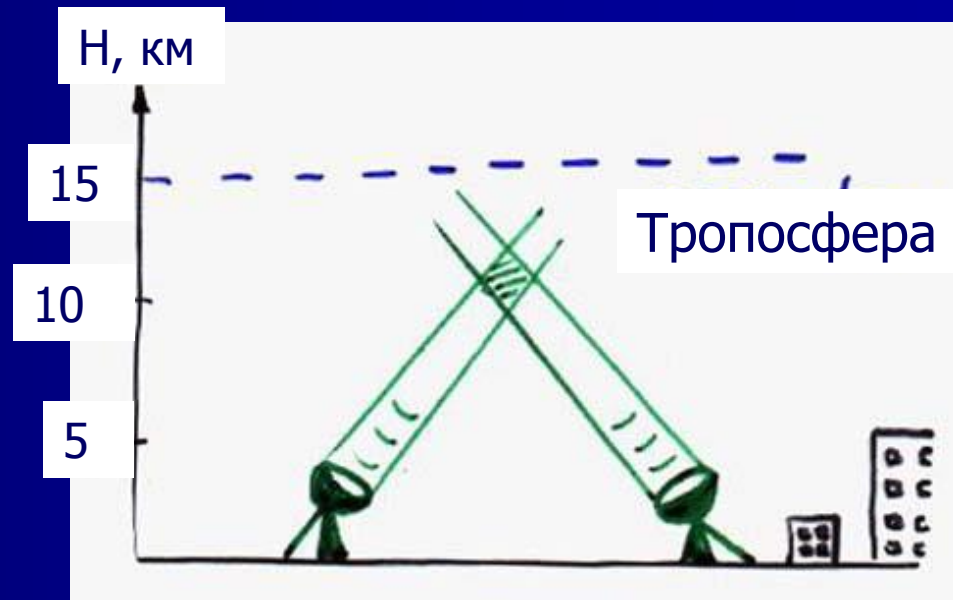
$P = 500 \text{ МВт}$

$H = 15 \text{ км}$

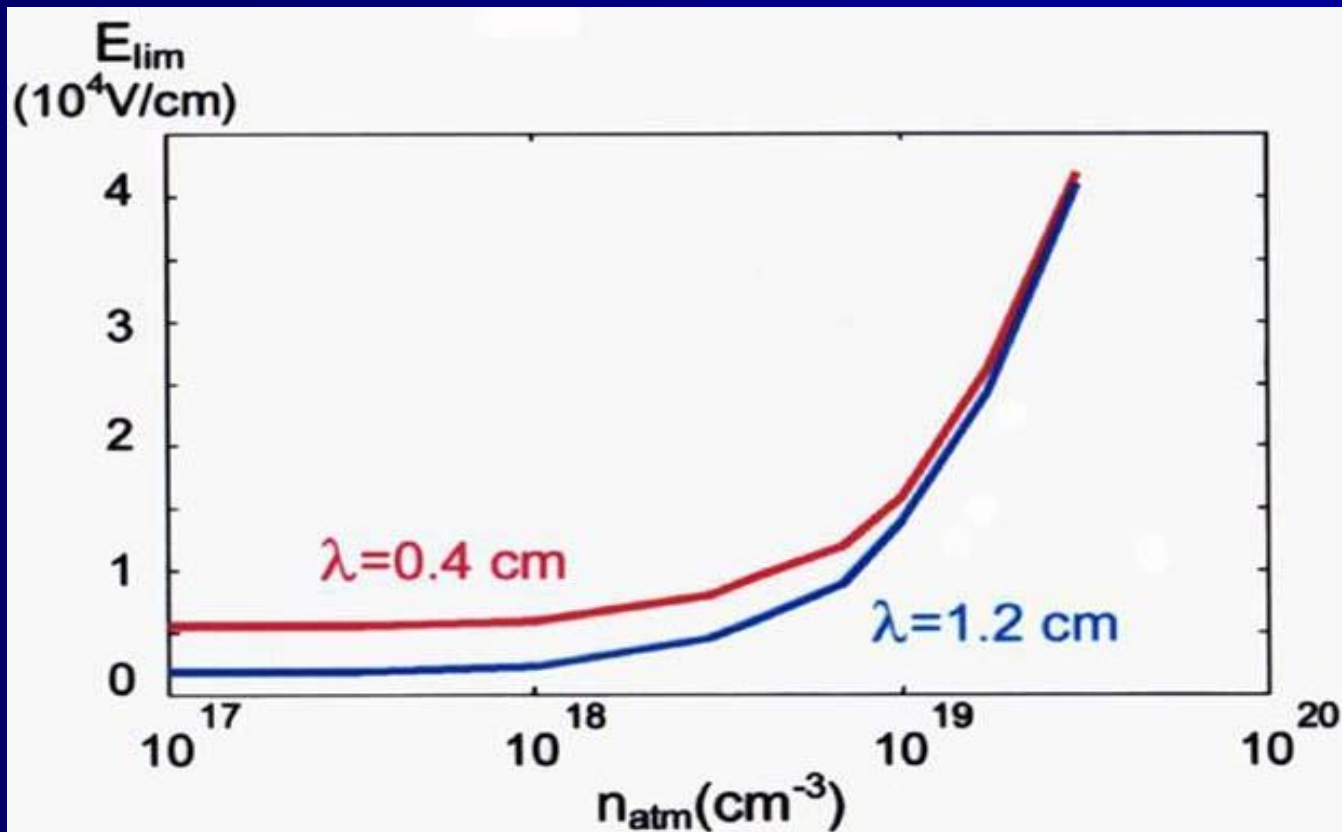
$E_{\text{фр}} = 20 \text{ КэВ/молек.}$

При $P_{\varepsilon} = 20 \text{ ГВт}$

производительность
 $\sim 30 \text{ кТ/год}$

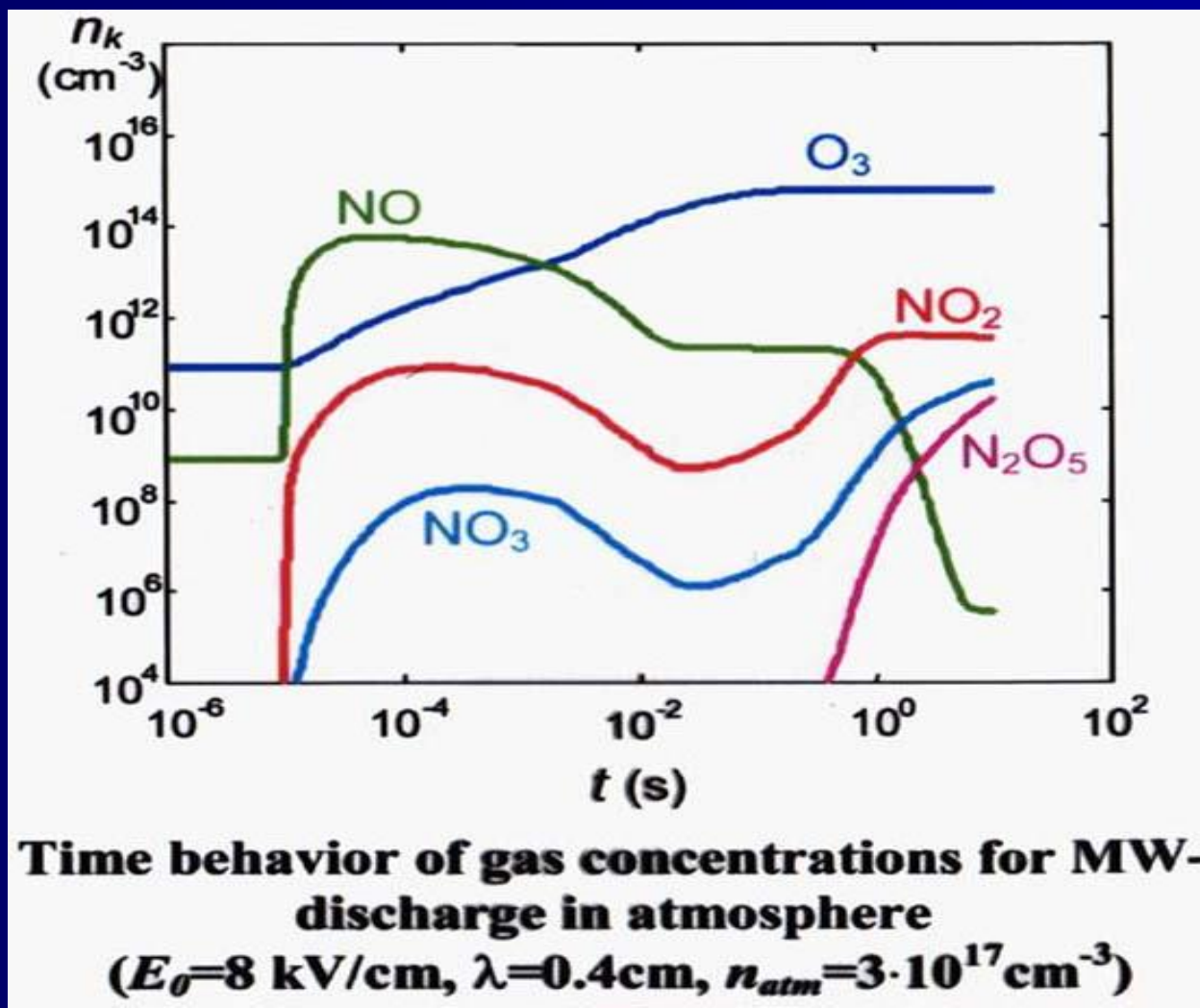


Использование СВЧ-излучения для ликвидации фреонов в атмосфере



**Electric field threshold for MW-discharge
in atmosphere**

Использование ММ-излучения для наработки озона в защитном озоновом слое атмосферы

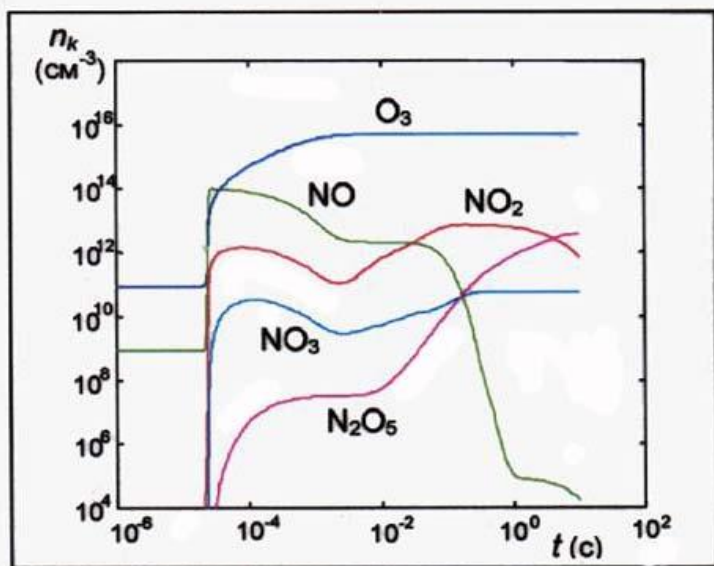


Использование ММ-излучения для наработки озона в защитном озоновом слое атмосферы

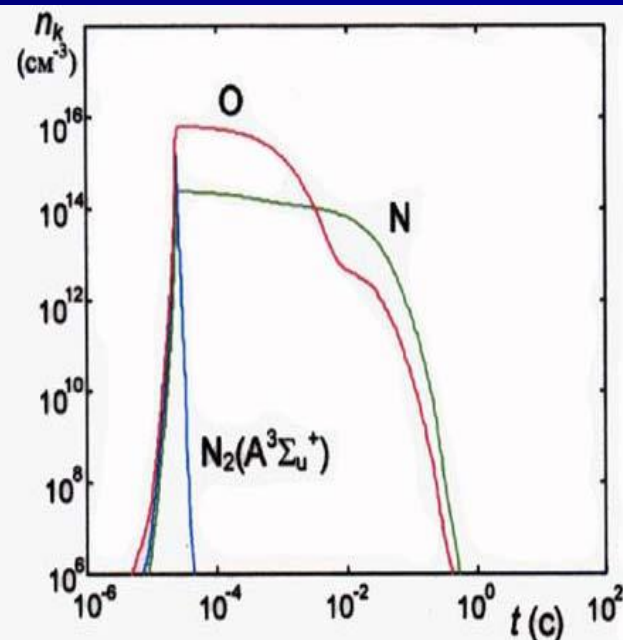
Результаты расчетов для нижней границы
озонового слоя ($n_m = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$).

СВЧ-разряд при $\lambda = 0.4 \text{ см}$ и $E_0 = 8 \text{ кВ/см}$.

Поведение во времени



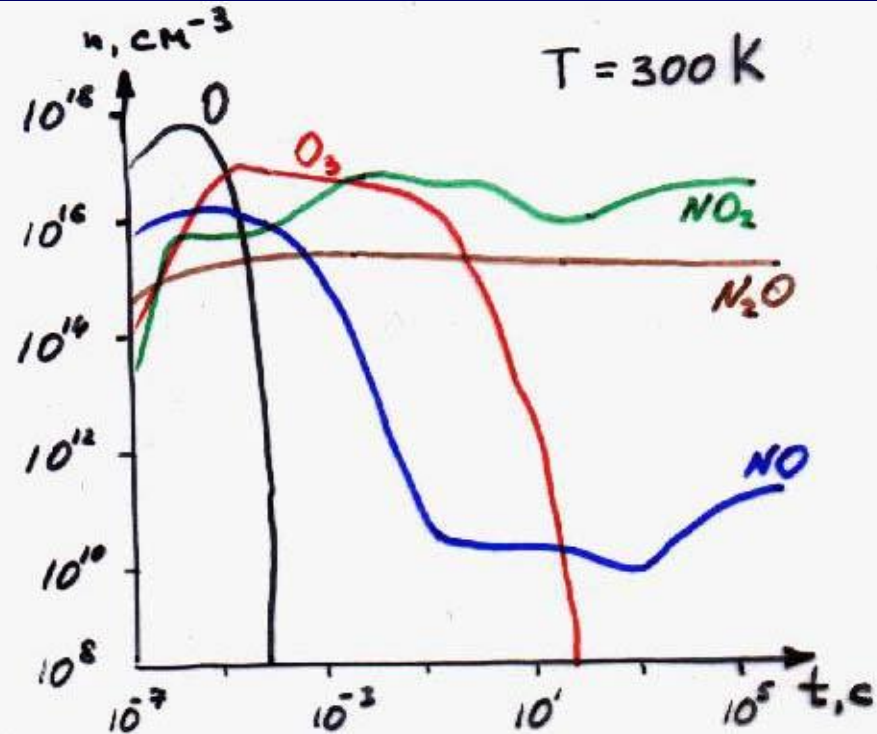
концентраций озона, основных окислов азота



а также свободных радикалов **O**, **N** и
метастабильного состояния молекулы азота $\text{N}_2(\text{A}^3\Sigma_u^+)$.

Разрушение озонового слоя при опытах по созданию в атмосфере искусственных ионизированных областей

$$\begin{aligned}\tau_{\text{ион}} &= 1 \text{ нкс}, \\ E_{\text{эфф}}/n &= 10^{-16} \text{ В} \cdot \text{см}^2, \\ n_{e_0} &= 10^{14} \text{ см}^{-3}, \\ p &= 300 \text{ Торр}.\end{aligned}$$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ