

The background of the slide is an aerial photograph of Earth's atmosphere, showing a dense layer of white clouds against a deep blue sky. The clouds are scattered and vary in density, creating a textured appearance. The overall tone is bright and clear.

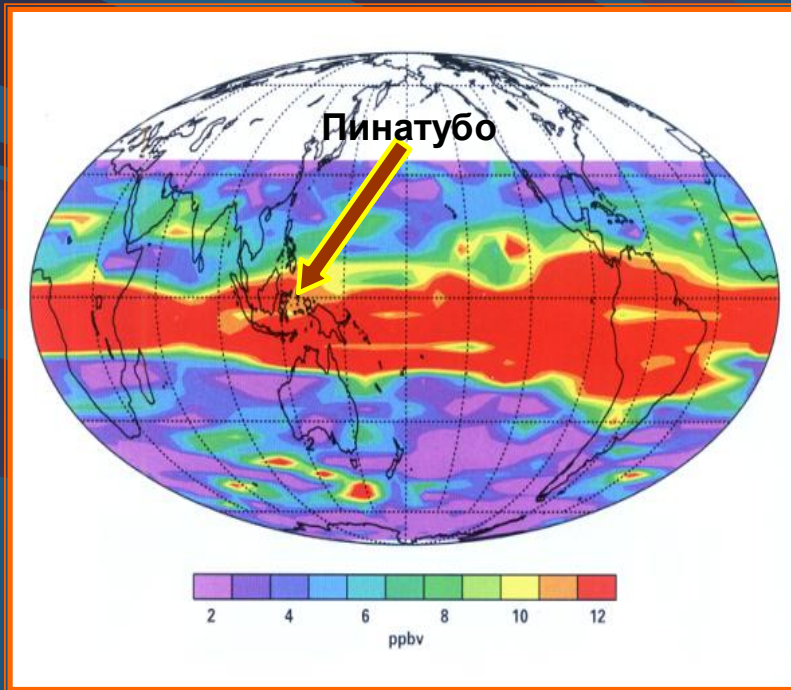
***Влияние стратосферных  
вулканических возмущений  
на экосистемы и климат***

**Владимир В. Зуев**

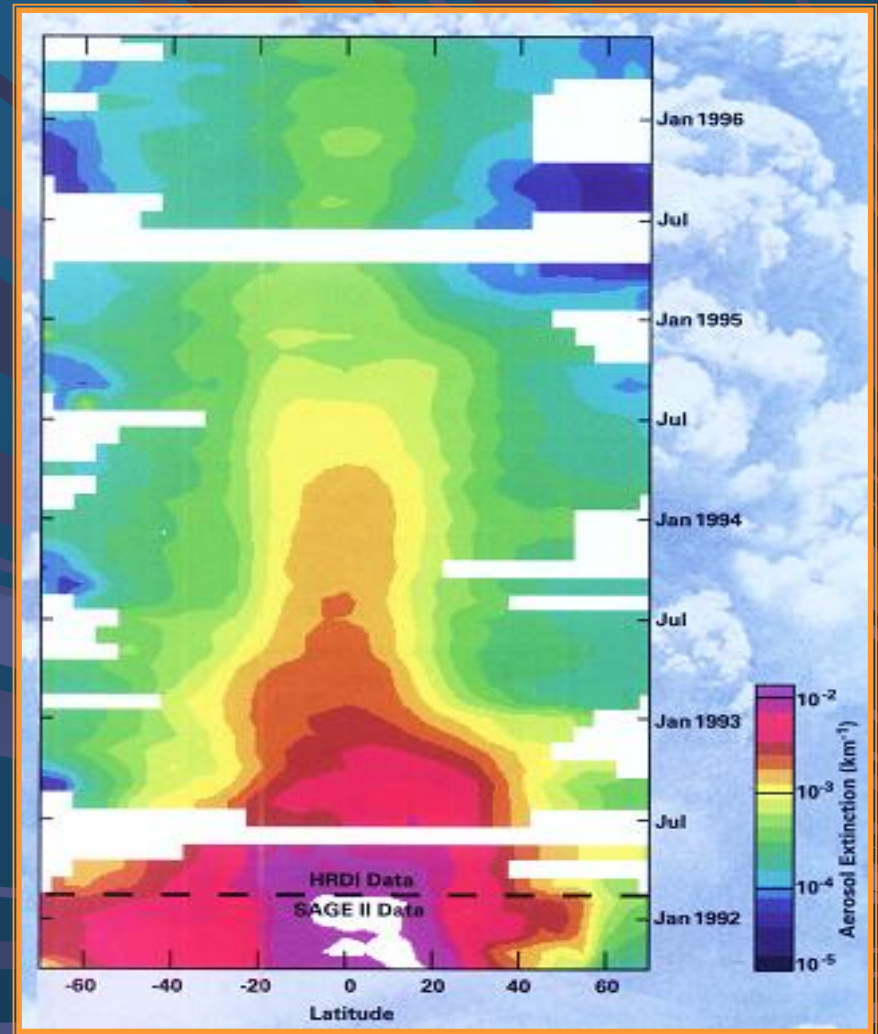
# Содержание

1. Введение
2. Вулканогенные возмущения стратосферы и ОСО
3. Схема влияния УФ-В радиации на биосферные процессы
4. О роли УФ-В радиации в нагревании поверхности океана
5. УФ-В радиация, фотосинтез, дыхание растений и почвы
6. Климатические оптимумы и вулканизм
7. Заключение

# Возмущение глобальной стратосферы после извержения вулкана Пинатубо



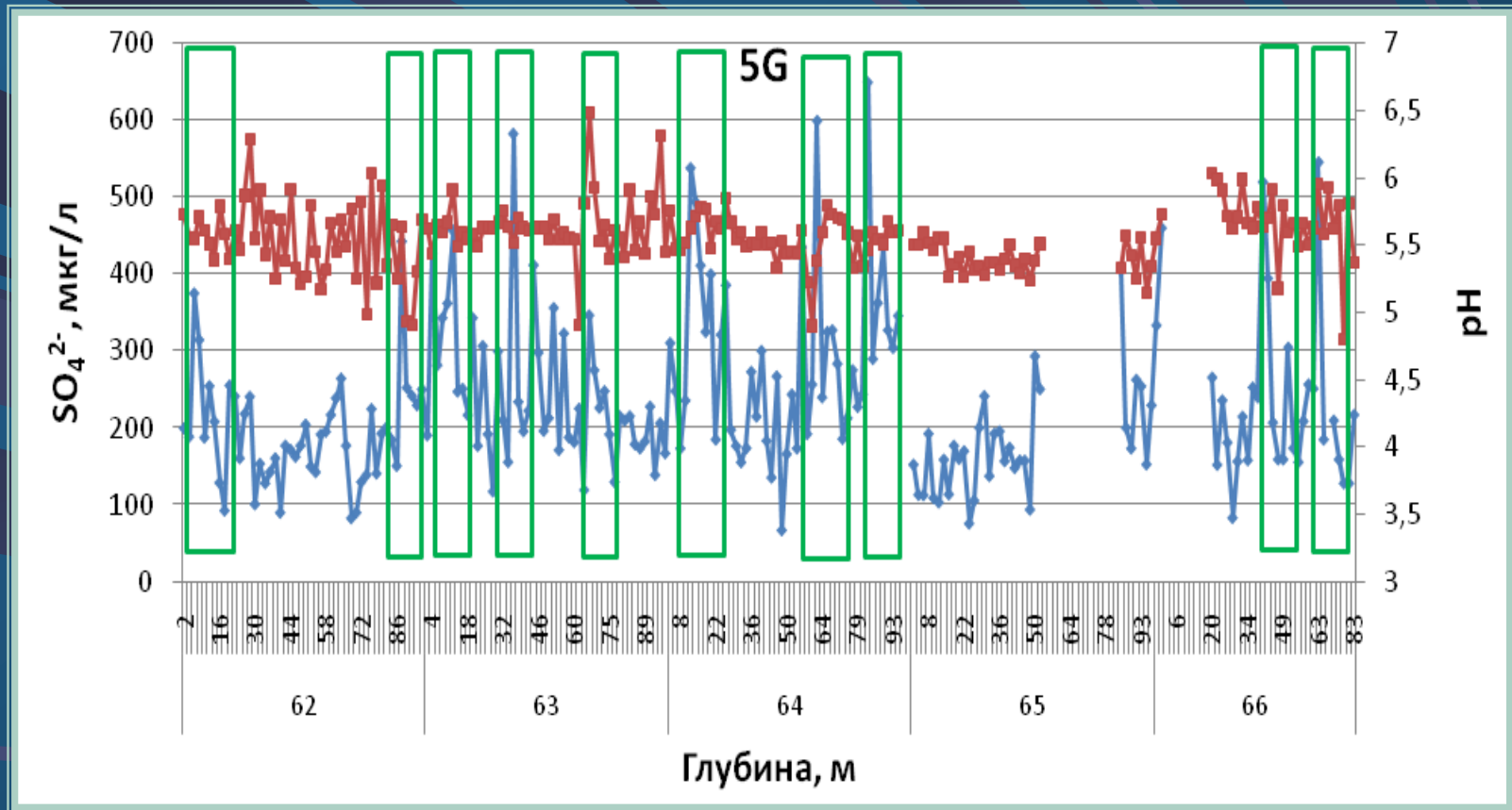
Распределение SO<sub>2</sub> в глобальной стратосфере в конце июня 1991 г.



Широтно-временное распределение вулканогенного аэрозоля на высоте 25 км

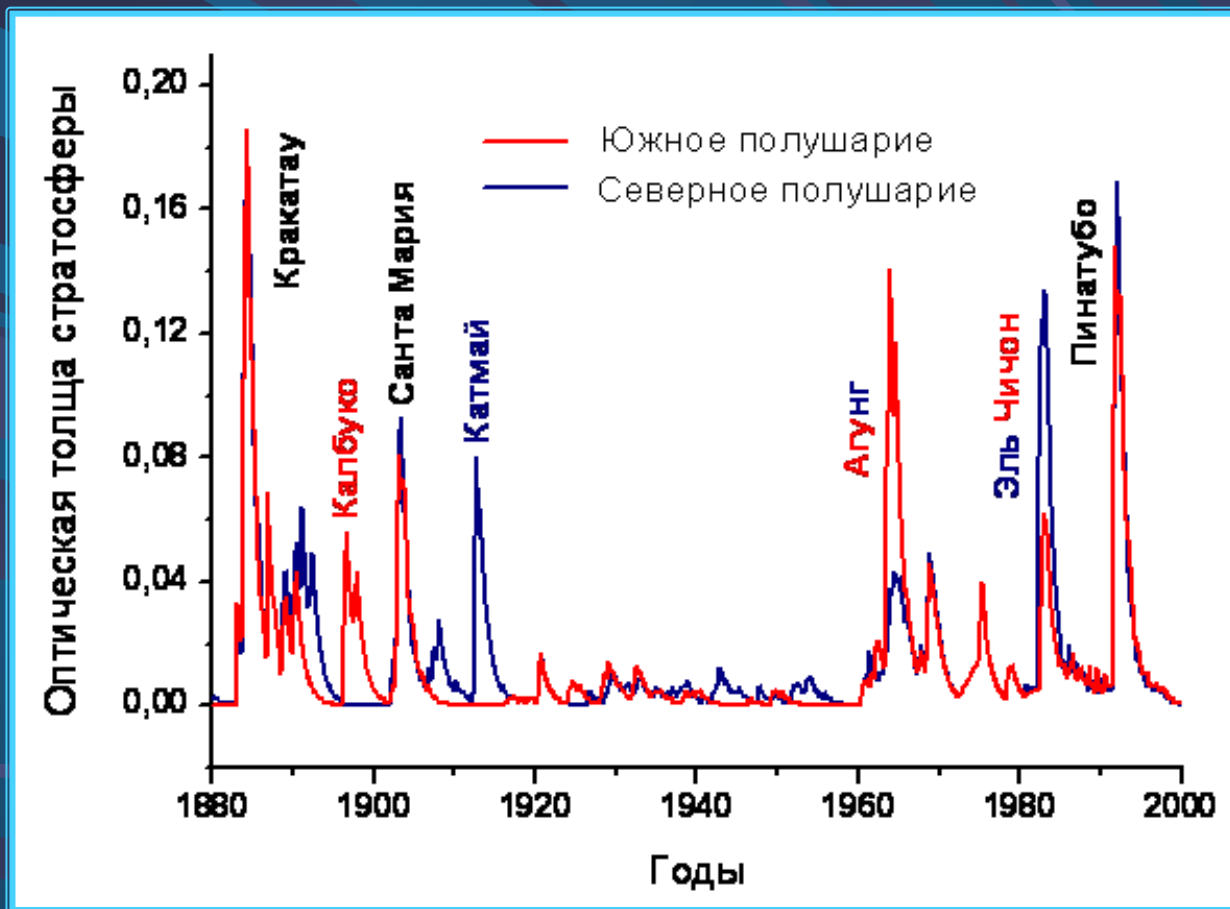


# Вулканогенные следы в Антарктиде



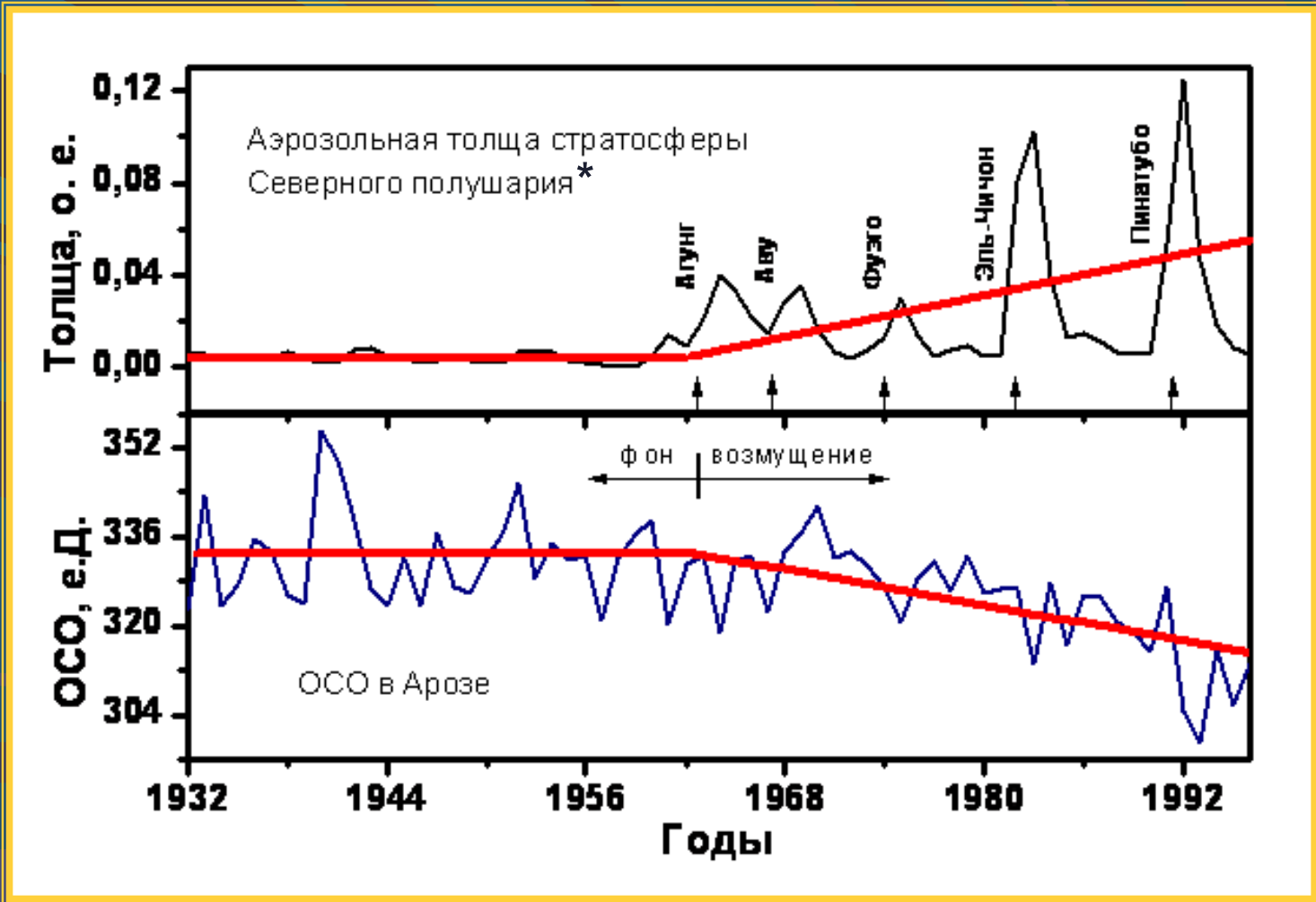
Концентрации ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  в воде снежно-фирнового керна скважины 5G станции «Восток» с глубины залегания 62-66 м

# Аэрозольная оптическая толщина стратосферы за период 1880-2000 гг.



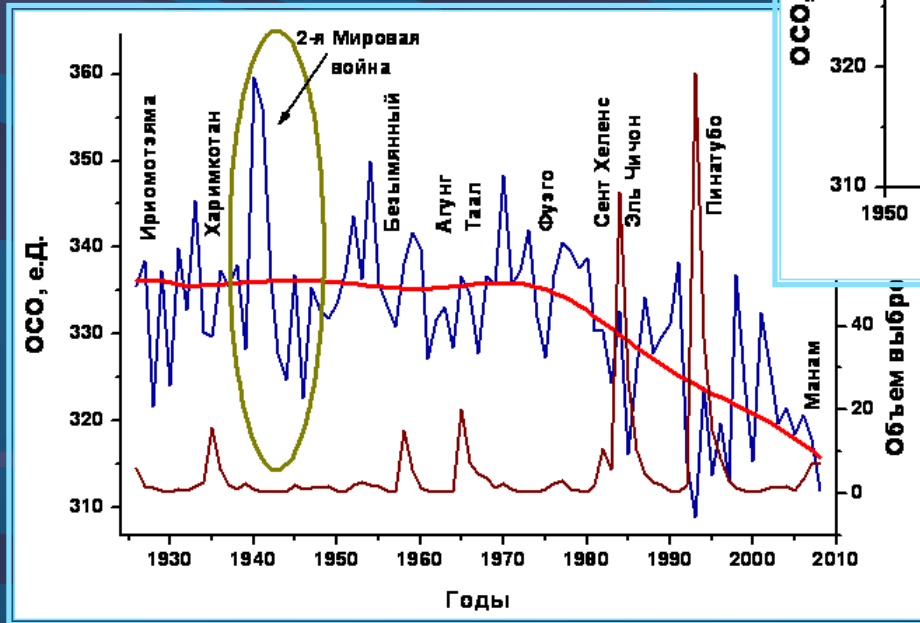
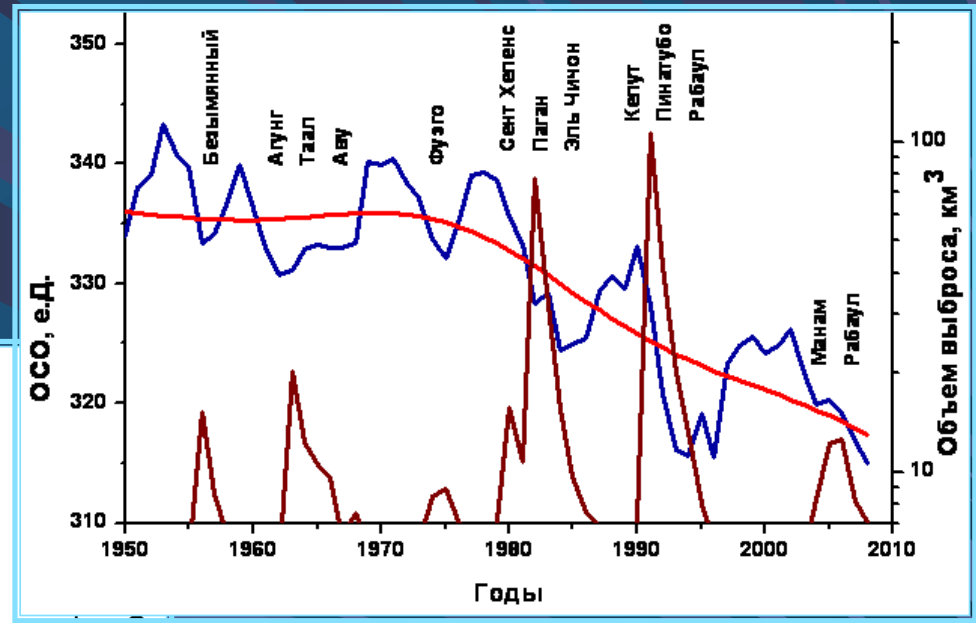
Реконструкция аэрозольной оптической толщи стратосферы по следам сернокислотного аэрозоля в ледовых ядрах Антарктиды и Гренландии

# ОСО в Арозе и аэрозольная оптическая толща стратосферы



\* - реконструкция по кернам льда Гренландии

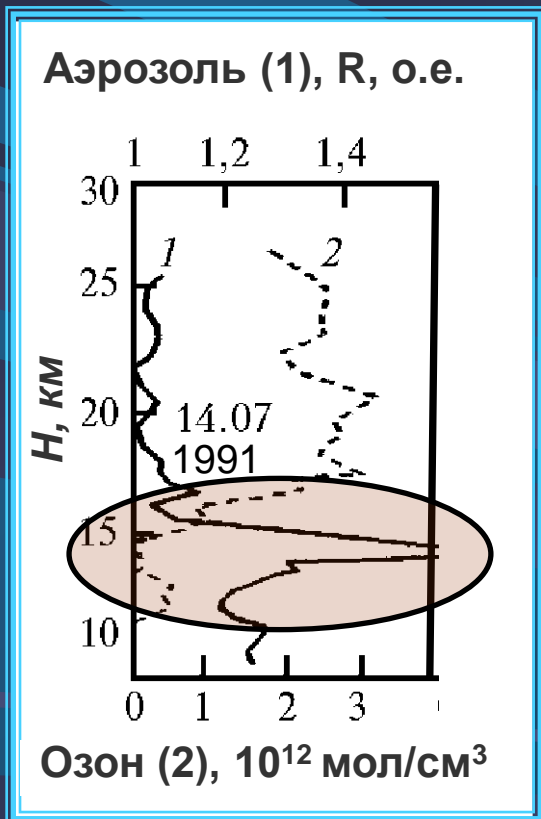
# ОСО в Арозе и вулканические возмущения стратосферы



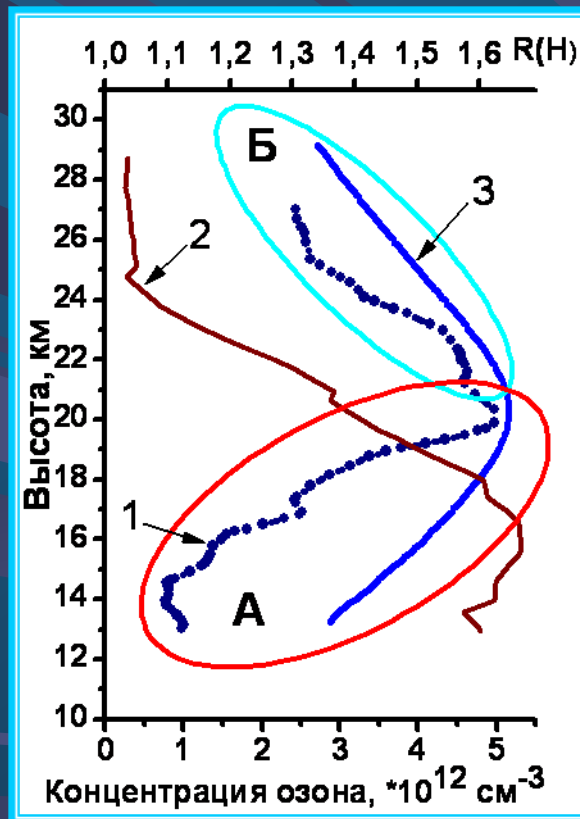
Тот же ряд ОСО с 1979 г.,  
сглаженный по трем годам и  
объемы вулканических выбросов

Ряд ОСО в Арозе и объемы вулканических выбросов в стратосферу тропической зоны и Северного полушария

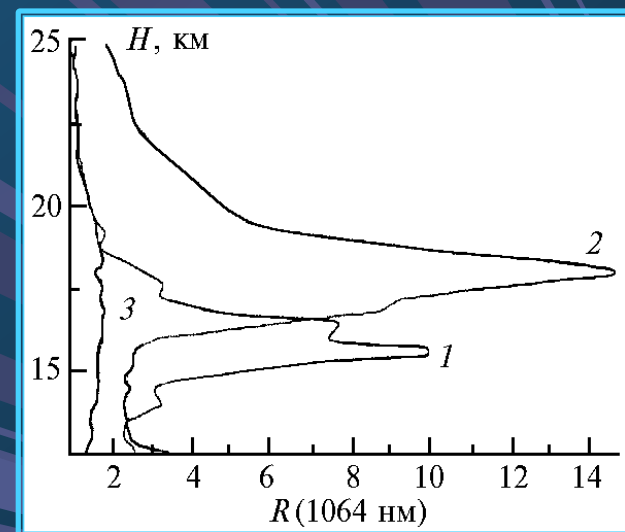
# Вулканогенная депрессия озона в стратосфере над Томском после извержения вулкана Пинатубо (1991)



Пепельный аэрозоль (1), озон (2), июль 1991

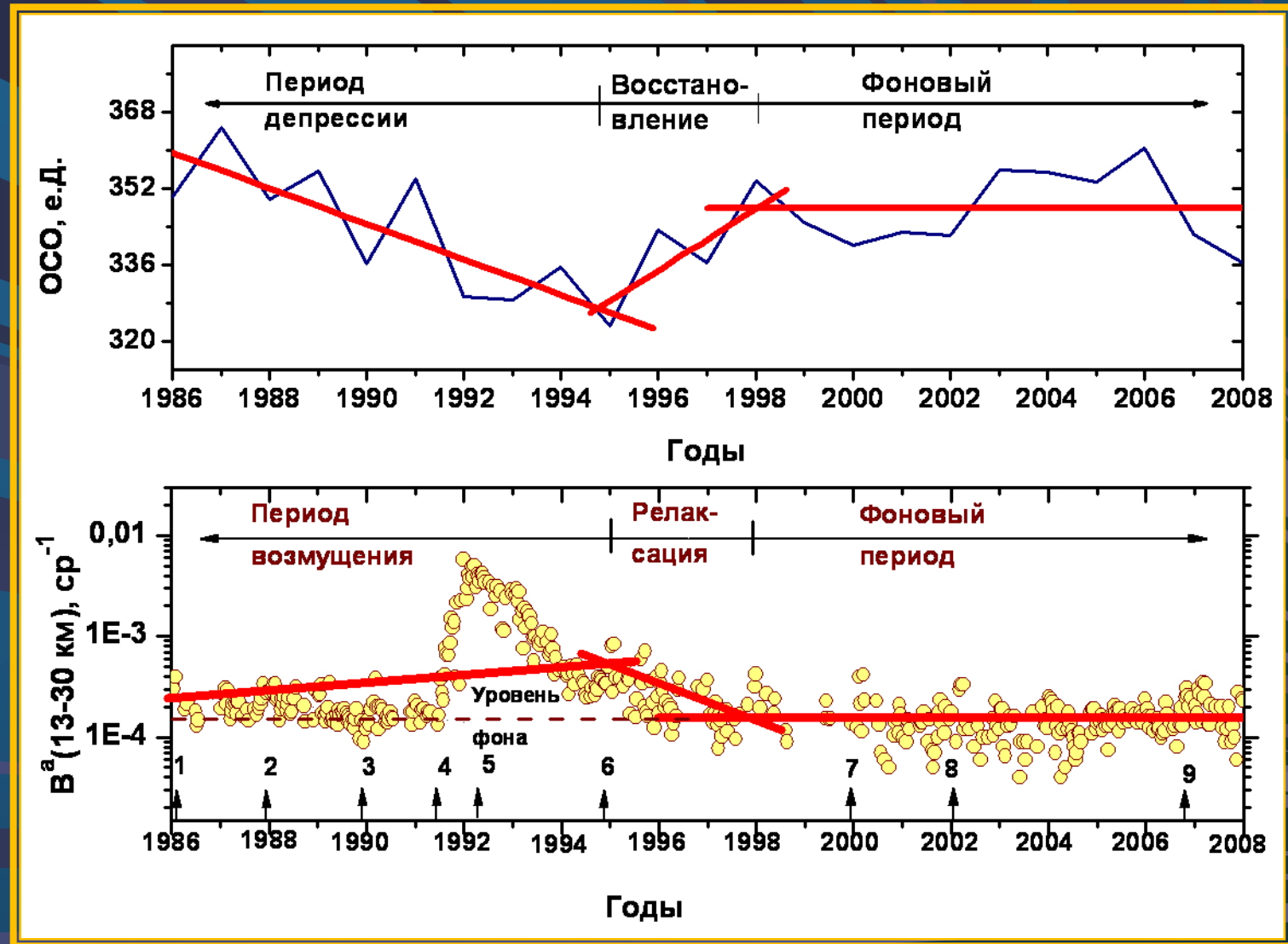


Озон (1), модель озона (3), сернокислотный аэрозоль (2), апрель 1993



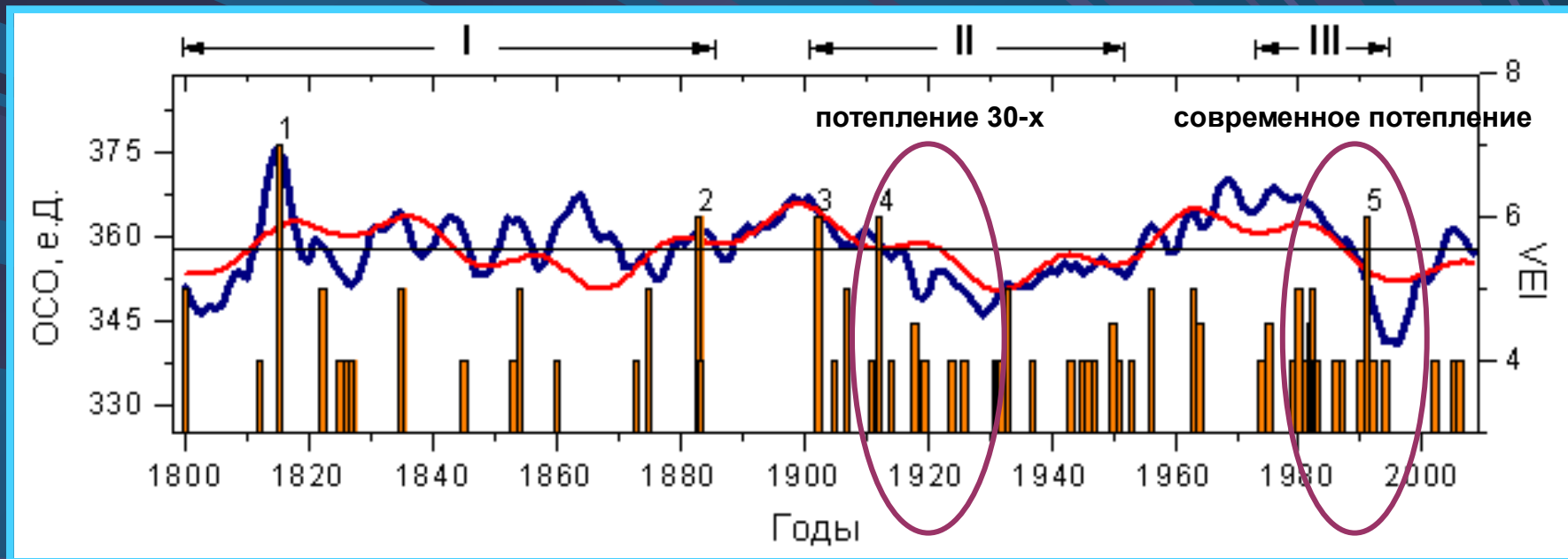


# Стратосферный озон и аэрозоль над Томском



Стрелками обозначены годы извержений вулканов: 1 – Августин; 2 – Банда Апи; 3 – Келут; 4 – Пинатубо; 5 – Спурр; 6 – Рабаул; 7 – Гекла; 8 - Руанг 9 – Рабаул.

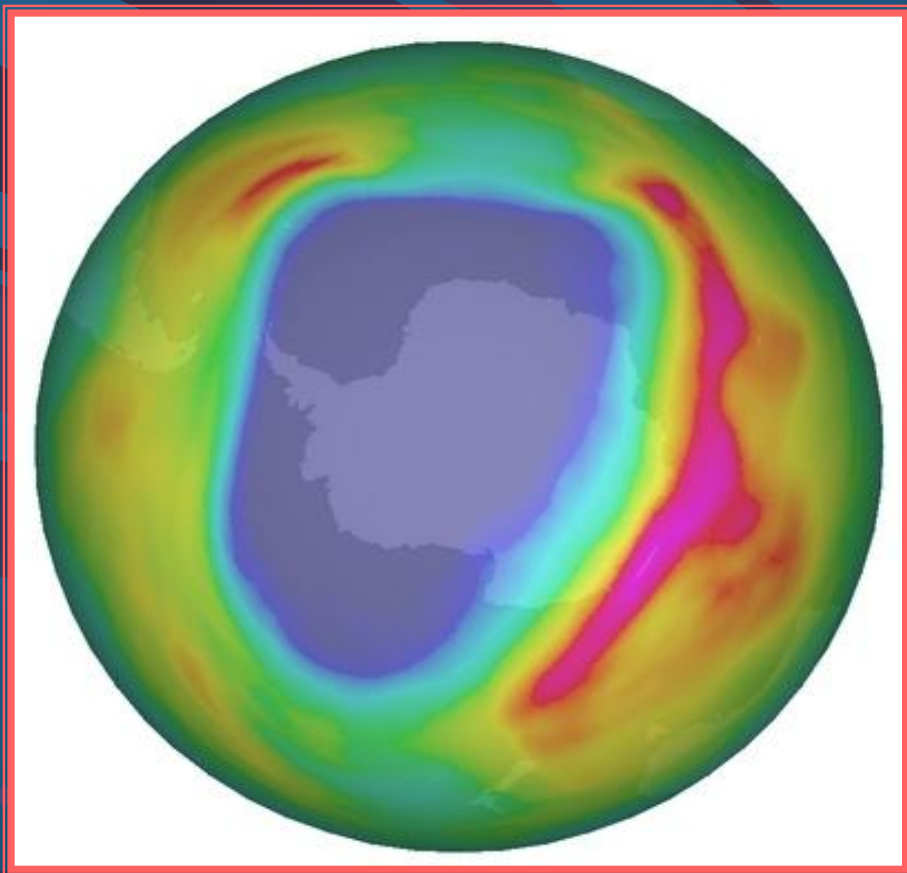
# Проявление вулканогенной депрессии стратосферного озона в субарктике на фоне циклических колебаний



Столбики – хронология извержений с VEI  $\geq 6$ : 1-Тамбора;  
2-Кракатау; 3-Санта-Мария; 4-Катмай; 5-Пинатубо

# “Озоновая дыра” над Антарктидой

## Ключевые элементы



“Озоновая дыра” из космоса  
(сентябрь 2006 г., ~ 30 млн. км<sup>2</sup>)



Полярные стратосферные облака



Вулкан Эребус

# Стратосферная гетерогенная химия

Каталитический хлорный цикл:



Блокирующие реакции:



Гетерогенные реакции восстановления:



или

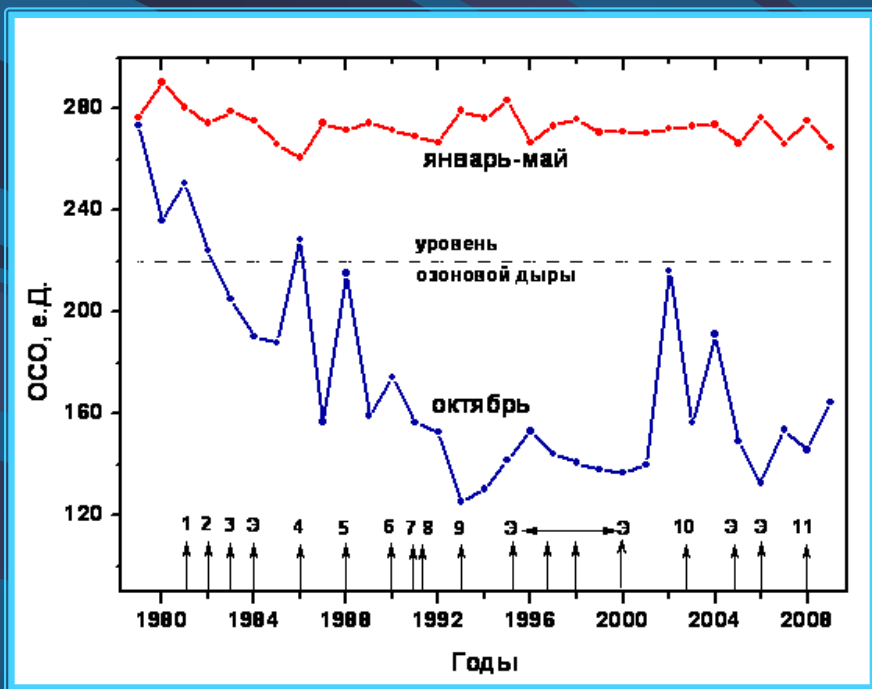


газовая фаза

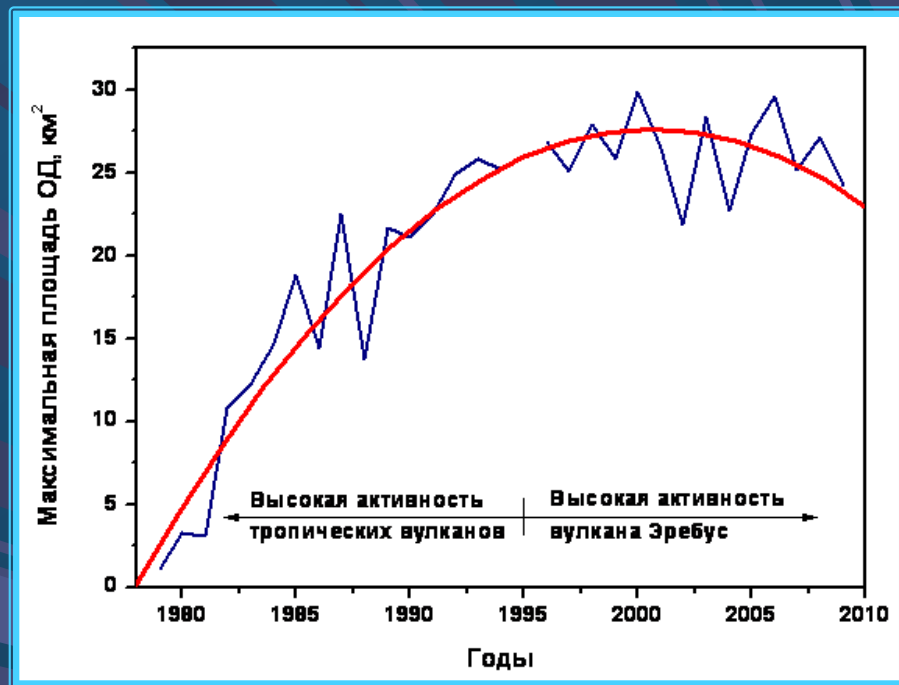
твердая фаза



# Вулканизм и озоновая дыра

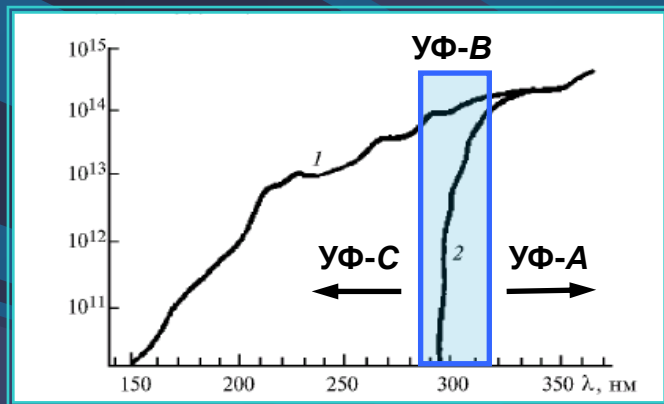


Поведение СО над антарктической станцией Халли: 1-Паган; 2-Галангунг; 3-Коло; 4-Ласкар; 5-Банда Апи; 6-Келут; 7-Пинатубо; 8-Серро-Хадсон; 9-Ласкар; 10-Руанг; 11-Чайтен и Э- проявление повышенной активности Эребуса.



Определяемое по спутниковым данным изменение максимальной площади озоновой дыры над Антарктидой (синия линия). Параболический тренд (красная линия) демонстрирует ее уменьшение после 2000 г.

# Схема влияния УФ-В радиации на биосферные процессы

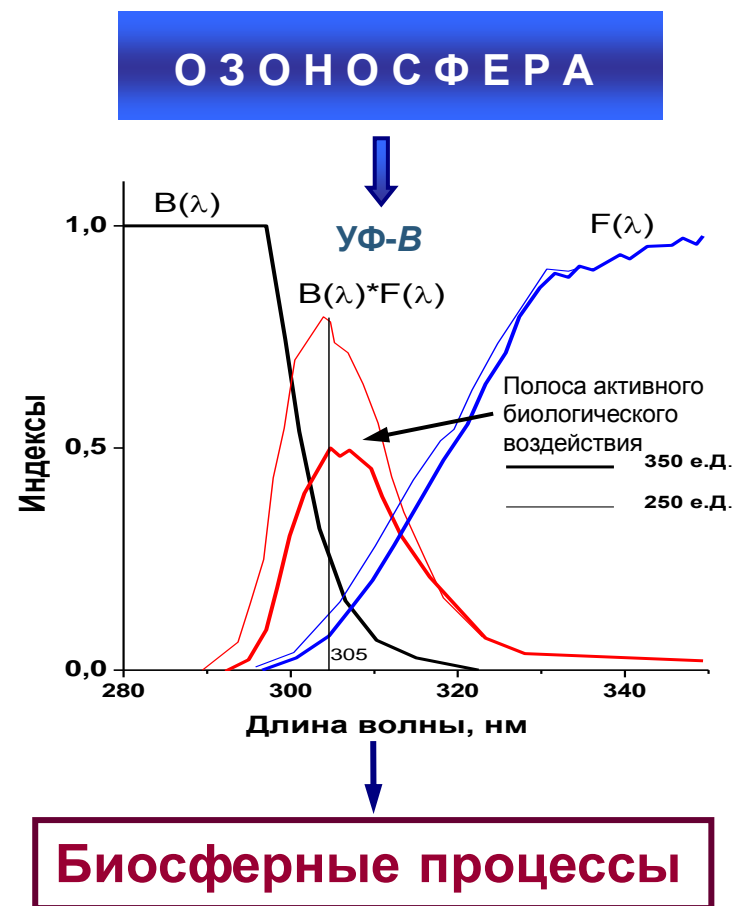


Приток фотонов на верхней границе атмосферы (1) и у поверхности Земли (2)

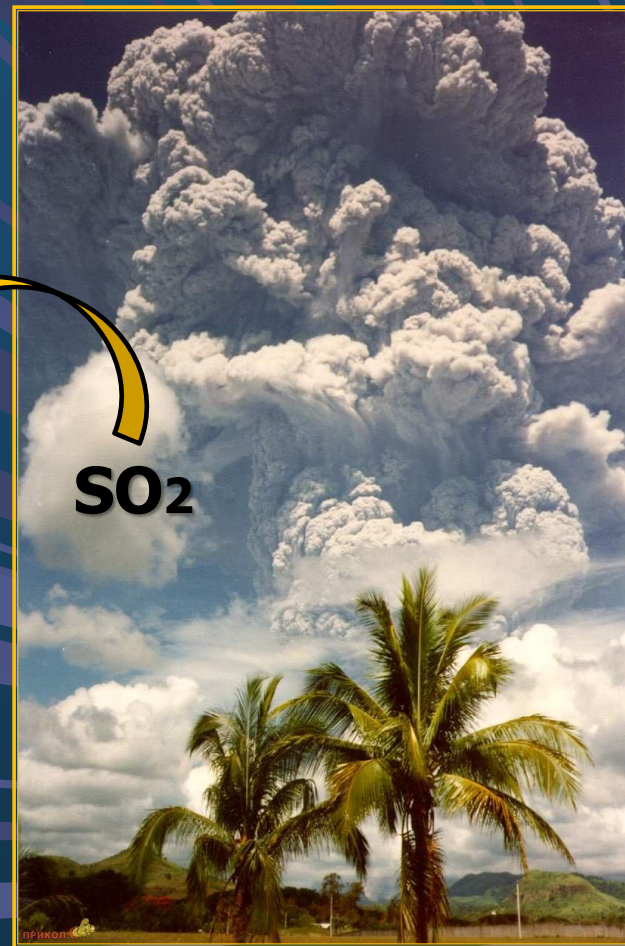
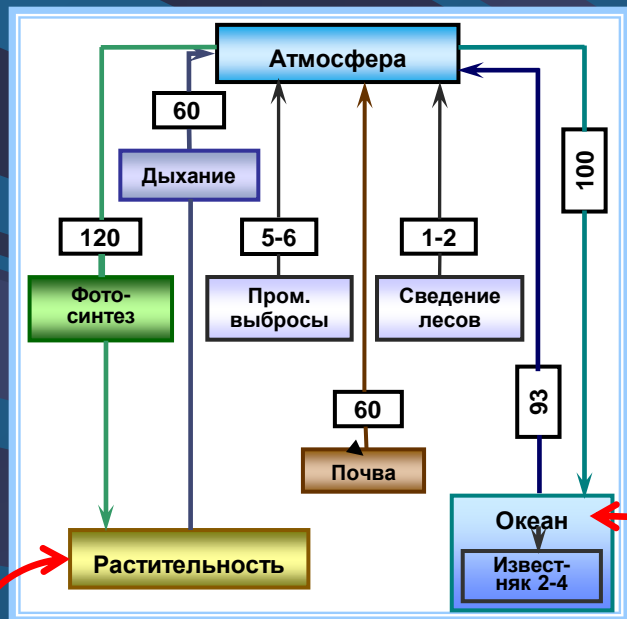
Связь изменчивости ОСО и УФ-В радиации  
Эдмонтон (Канада), 1996-2004 гг.

Длина волны, нм	Полный период	По 10 дням	По месяцу	По году
300	- 0,67	- 0,74	- 0,70	- 0,82
305	- 0,67	- 0,74	- 0,68	- 0,82
310	- 0,55	- 0,64	- 0,55	- 0,81
315	- 0,38	- 0,46	- 0,30	- 0,77
N	2896	287	100	8
R <sub>0,99</sub>	- 0,01	- 0,15	- 0,26	- 0,81

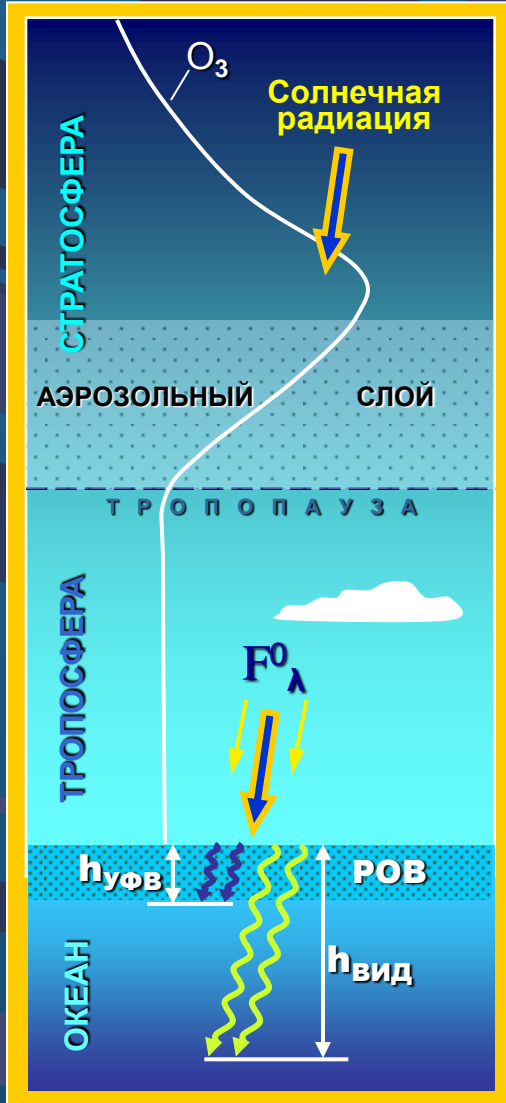
## Солнечная радиация



# Влияние вулканогенного возмущения озоносферы на круговорот углерода



# Озоносферные изменения и температура поверхности океана



Скорость радиационного нагревания воды:

$$\frac{dT(h)}{dt} = -\frac{1}{\rho_V c_p} \int_{\Delta\lambda} \frac{dF_{\Delta\lambda}(h)}{dh} d\lambda ,$$

где  $\rho_V$  – плотность,  $c_p$  – удельная теплоемкость воды

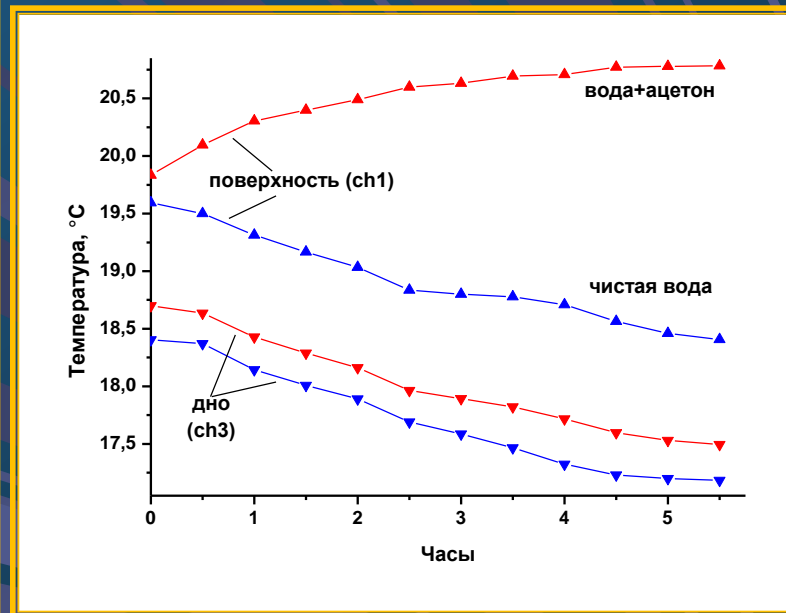
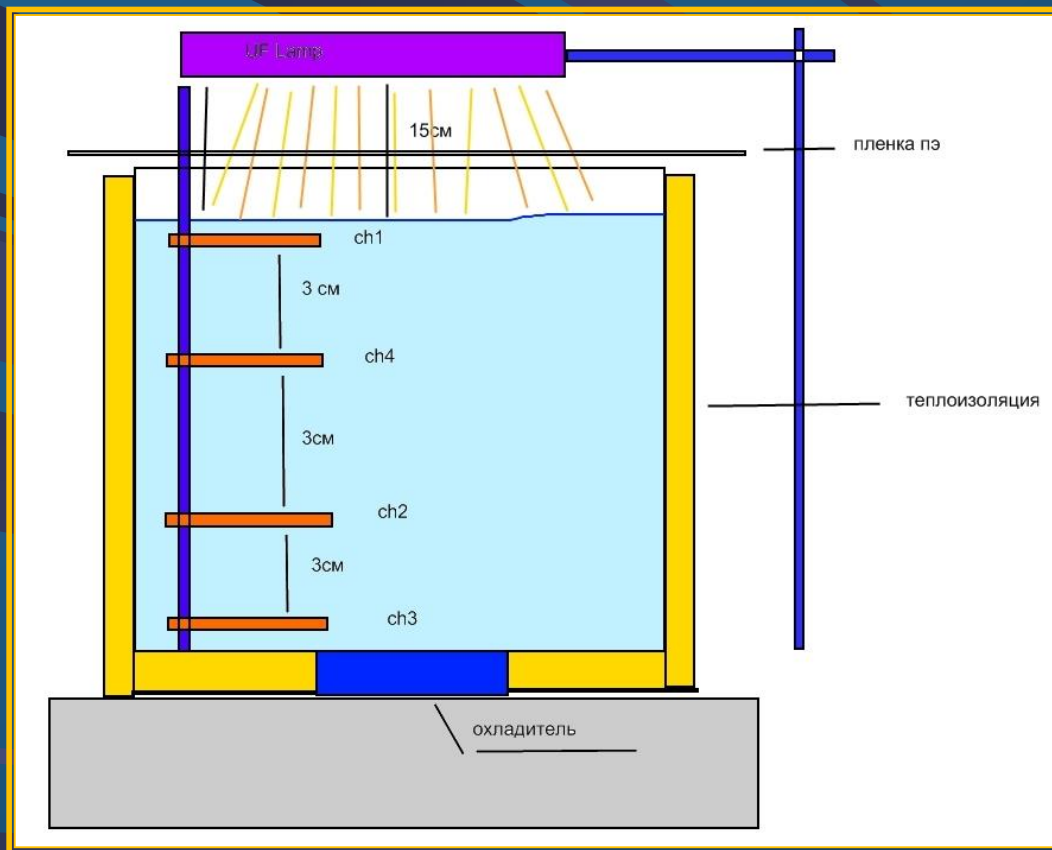
$$\frac{dF_{\Delta\lambda}(h)}{dh} = -F_{\Delta\lambda}^0(h) \alpha_{\Delta\lambda}(h) \quad \text{– закон Бугера-Бэра.}$$

Вклад УФ-В радиации в нагревании поверхности воды на порядок выше, чем в видимом диапазоне за счет существенно более эффективного ее поглощения растворенным органическим веществом (РОВ)

$$\downarrow O_3 \rightarrow \uparrow F_{\text{УФВ}}^0 \rightarrow \uparrow \text{ТПО}$$



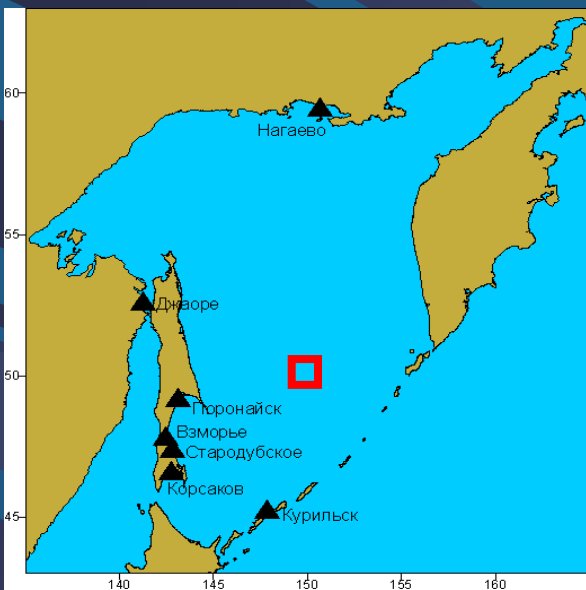
# Влияние УФ-В облучения ( $1 \text{ Вт/м}^2$ ) на температуру чистой воды и смеси воды с ацетоном



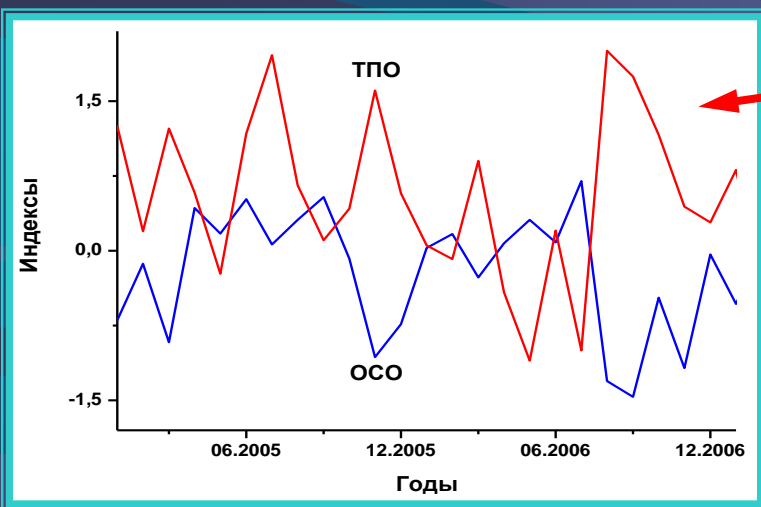
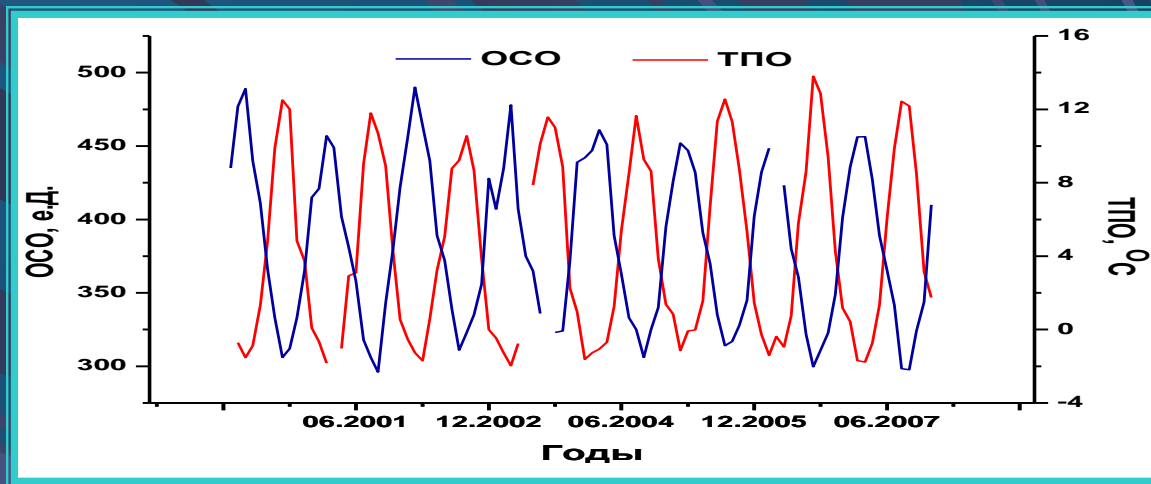
Изменения температурного режима в чистой воде и в смеси воды с ацетоном, активным поглотителем УФ-В радиации, у поверхности и у дна при принудительном охлаждении и УФ-В облучении ( $1 \text{ Вт/м}^2$ )

Блок-схема эксперимента: UF Lamp – Xe-CI эксиплексная лампа (длина волны 308 нм); ch1-ch4 – температурные датчики

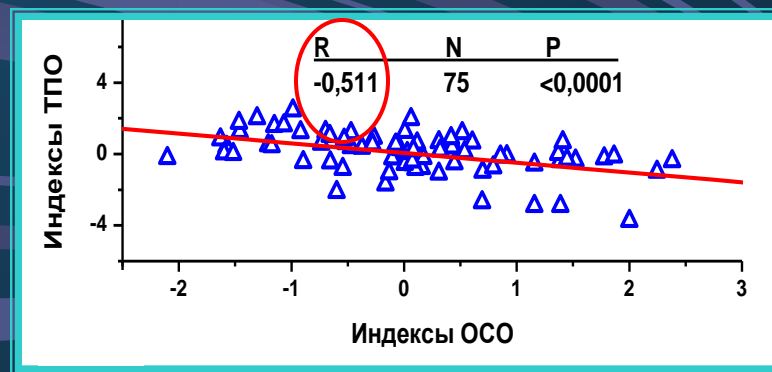
# Корреляция индексов ОСО и ТПО для Охотского моря



Ход среднемесячных значений ОСО (TOMS) и ТПО (MODIS) для координат 50°с.ш.; 150°в.д. в Охотском море; (2000-2007 гг.)



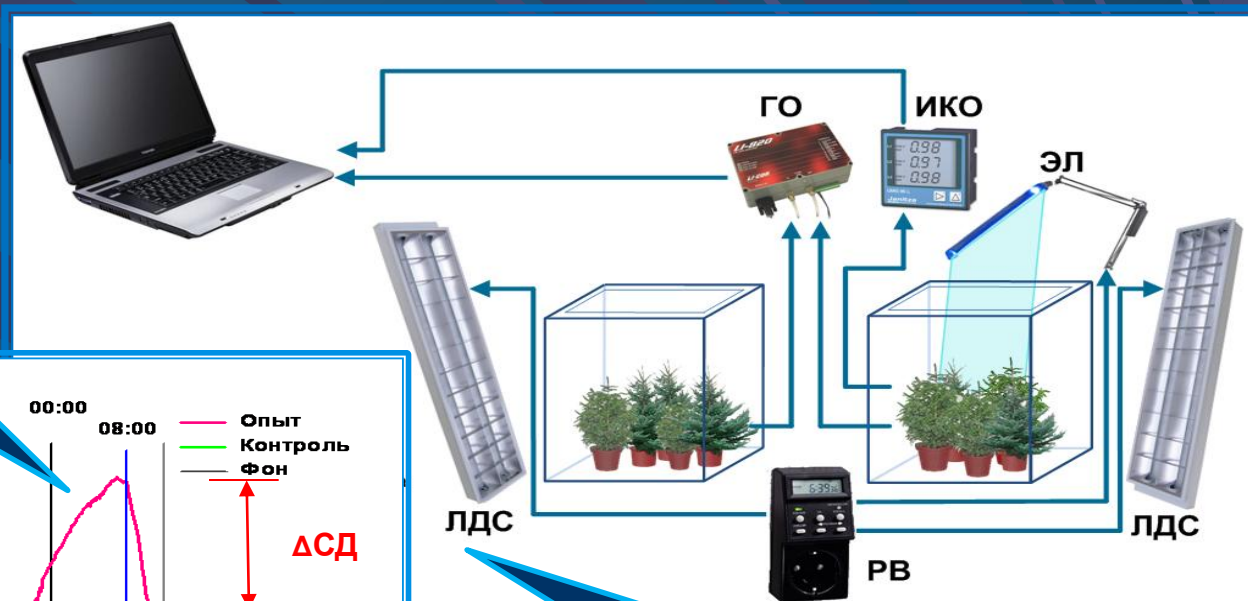
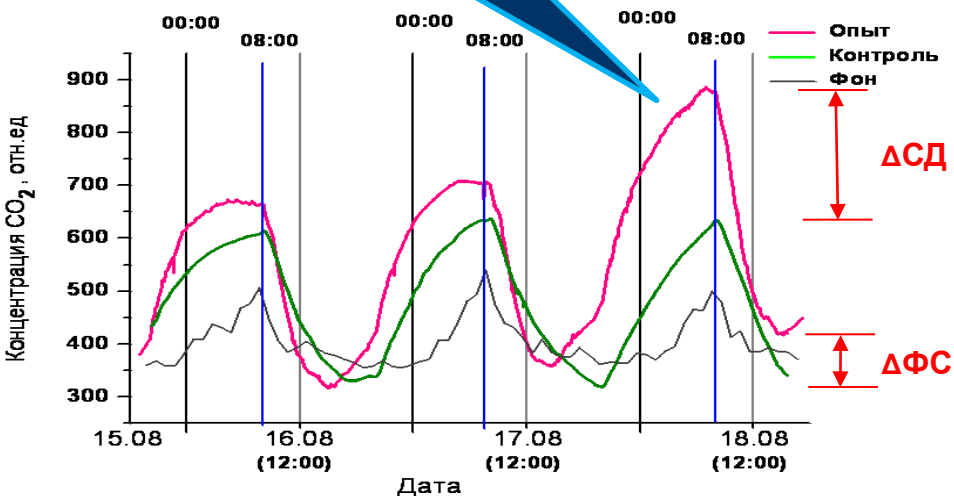
$$\Delta X_i = X_i - \text{норма}; \text{индексы} = \frac{\Delta X_i - \Delta \bar{X}_i}{\text{СКО}}$$



Корреляция индексов ОСО и ТПО для Охотского моря

# Изменения наблюдаемого фотосинтеза ели сибирской при УФ-В облучении ( $1 \text{ Вт/м}^2$ )

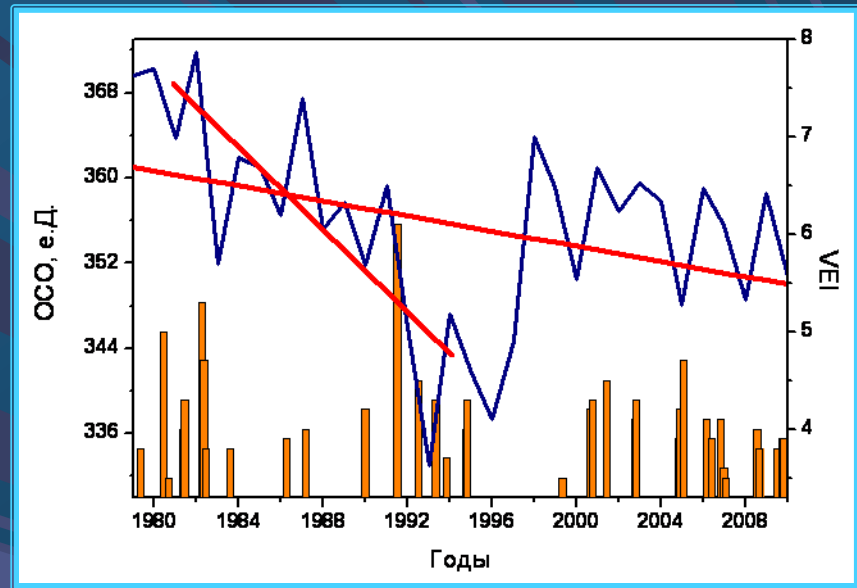
Уменьшение наблюдаемого фотосинтеза в опытной ассимиляционной камере на 2-й недели облучения и усиление стрессового дыхания



Блок-схема эксперимента:  
ЛДС – лампы дневного света;  
ИКО – измеритель озона;  
ЭЛ – ХеСІ-эксилампа;  
РВ – реле времени;  
ГО – Газоанализатор  $\text{CO}_2$  Li-Cor

# Озоносферные изменения и углеродный цикл

Баланс глобального цикла  
углерода (потоки), Гт / год

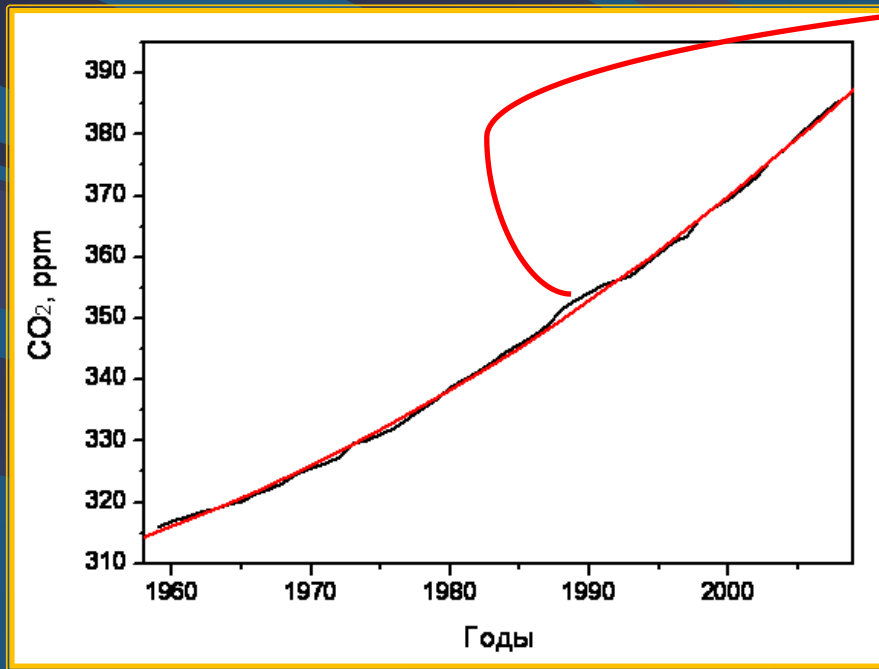


Отрицательный тренд ОСО в полосе широт бореальных лесов (55°-65° с.ш.) за период 1979-2010 гг. (~ 0,25% /год)

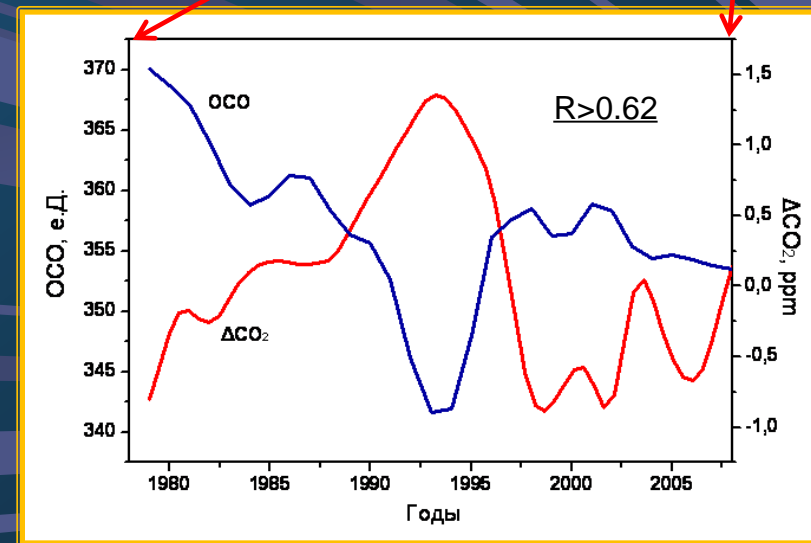
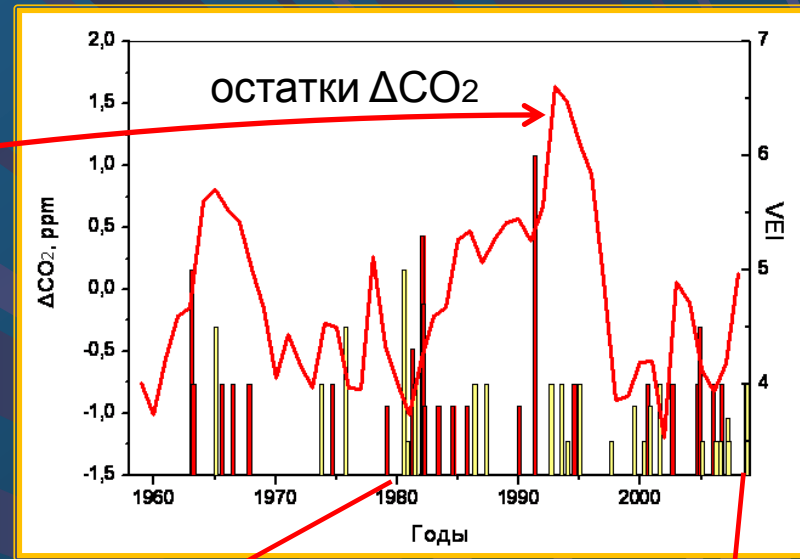
Рост УФ-В радиации со скоростью 0,55% /год за период 1982-1993 гг. привел к ускорению роста CO<sub>2</sub> в атмосфере минимум на 2 Гт С/год только за счет дисбаланса стоков-источков CO<sub>2</sub> в системе атмосфера-растительность-почва.



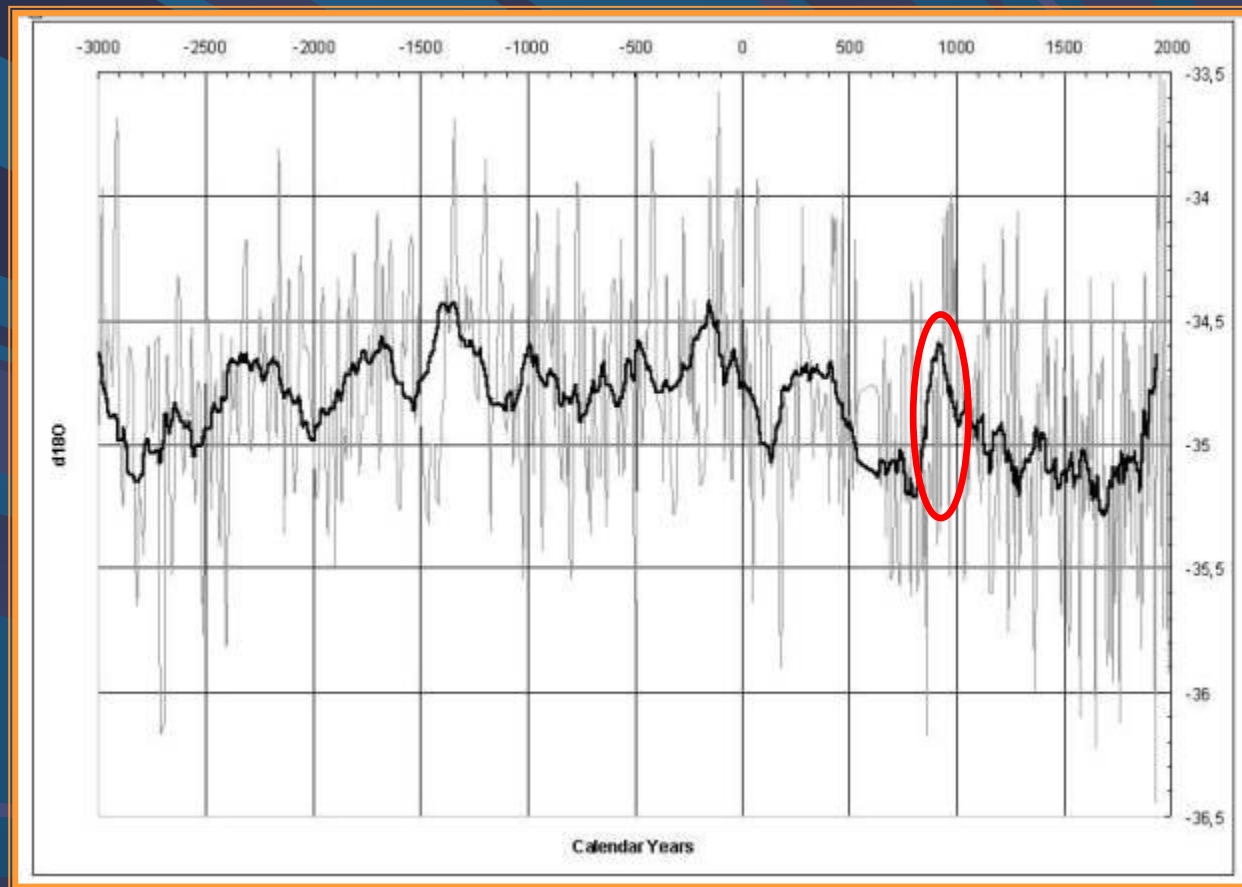
# Влияние вулканизма на изменчивость $\text{CO}_2$ и $\text{O}_3$



Ряд среднегодовых значений концентрации  $\text{CO}_2$  по данным станции Мауна-лоо и параболический тренд



# Температурные изменения последних 5000 лет

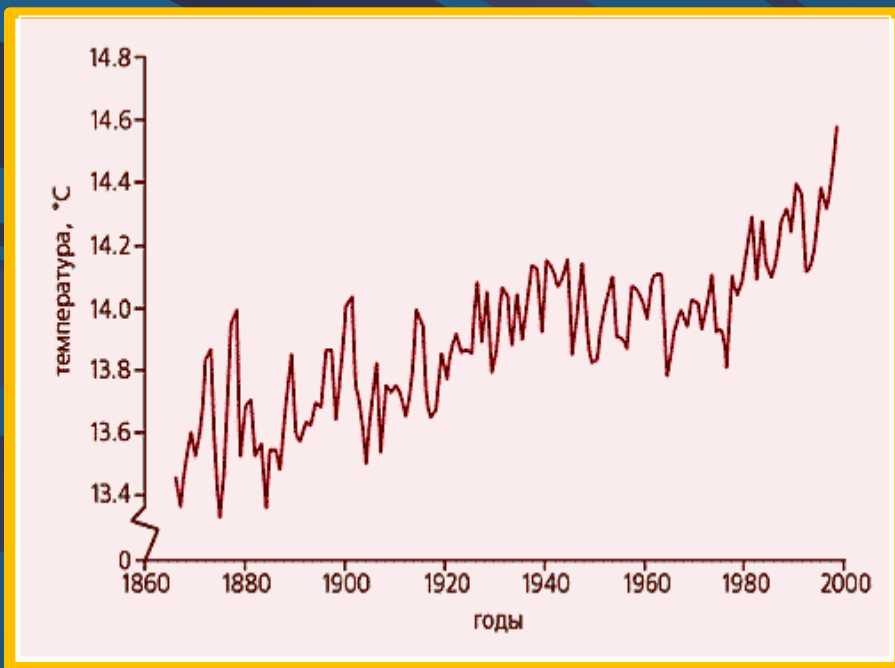


Распределение изотопа кислорода  $\delta^{18}\text{O}$  в верхней части керна из скважины GISP2 (Гренландия). Жирная линия - значения, сглаженные по 50-летиям.

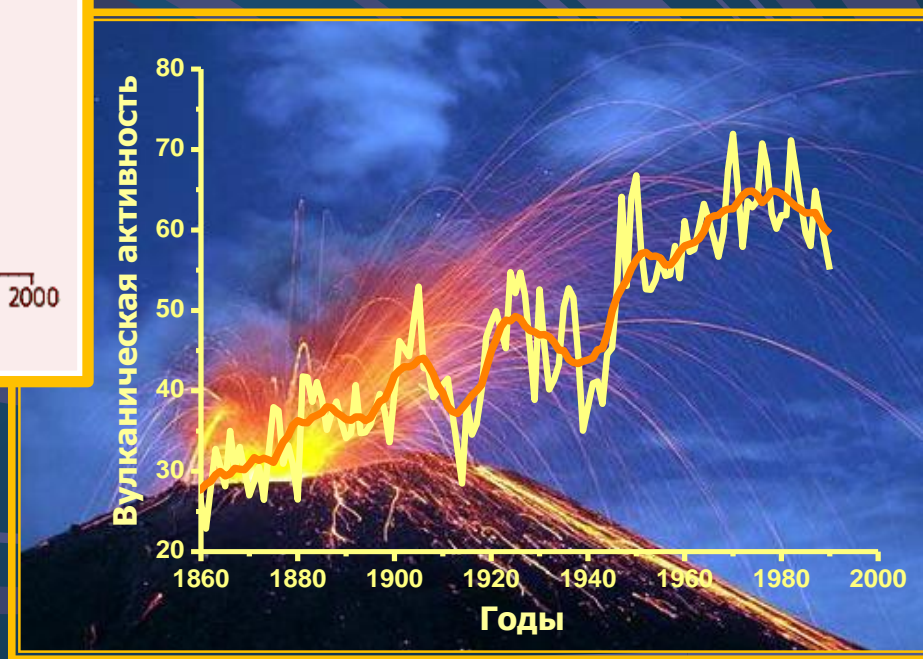
# АКТИВНОСТЬ ПЛИНИАНСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ В X веке

Volcano Name	Volcanic Subregion	Date	VEI
<u>TOLBACHIK</u>	Kamchatka Peninsula (Russia)	1000 (?)	5
<u>KSUDACH</u>	Kamchatka Peninsula (Russia)	1000 ± 50 years	5
<u>CHANGBAISHAN</u>	Eastern China	1000 ± 40 years	7
<u>SHIVELUCH</u>	Kamchatka Peninsula (Russia)	970(?)	4
<u>VESUVIUS</u>	Italy	968	4
<u>TOLBACHIK</u>	Kamchatka Peninsula (Russia)	950(?)	5
<u>BEZYMIANNY</u>	Kamchatka Peninsula (Russia)	950(?)	4
<u>KATLA</u>	Southern Iceland	934± 2 years	5
<u>GUAGUA PICHINCHA</u>	Ecuador	930± 100 years	5
<u>CEBORUCO</u>	México	930± 200 years	6
<u>KATLA</u>	Southern Iceland	920	4
<u>TOWADA</u>	Honshu (Japan)	915	5
<u>TOLBACHIK</u>	Kamchatka Peninsula (Russia)	900(?)	4

# Проблема изменения климата и вулканизм



Средняя глобальная температура  
земной поверхности



Усиление вулканической активности



# Выводы

1. В последние три десятилетия частота вулканогенных возмущений глобальной стратосферы превышала величину в среднем 1 возмущение за два года, не позволяя озоновому слою восстановиться полностью.
2. Рост УФ-В радиации приводит к увеличению добавки CO<sub>2</sub> в атмосферу по величине, по крайней мере, сопоставимой с антропогенным вкладом, ускоряя тем самым рост его концентраций.

**Спасибо  
за внимание**