

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОГНОЗОВ, ЭКОЛОГИИ, КЛИМАТА СИБИРИ (к 40-летию образования СибНИГМИ),  
г. Новосибирск, 19-20 апреля 2011 г.

# **Влияние вулканогенных возмущений стратосферы на климат**

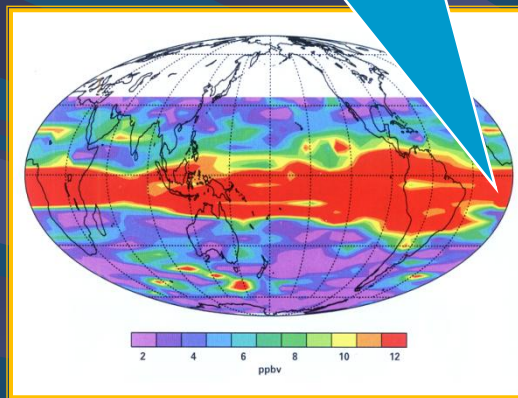
**Член-корр. РАН В.В. Зуев**

**ИМКЭС СО РАН  
ТОМСК**

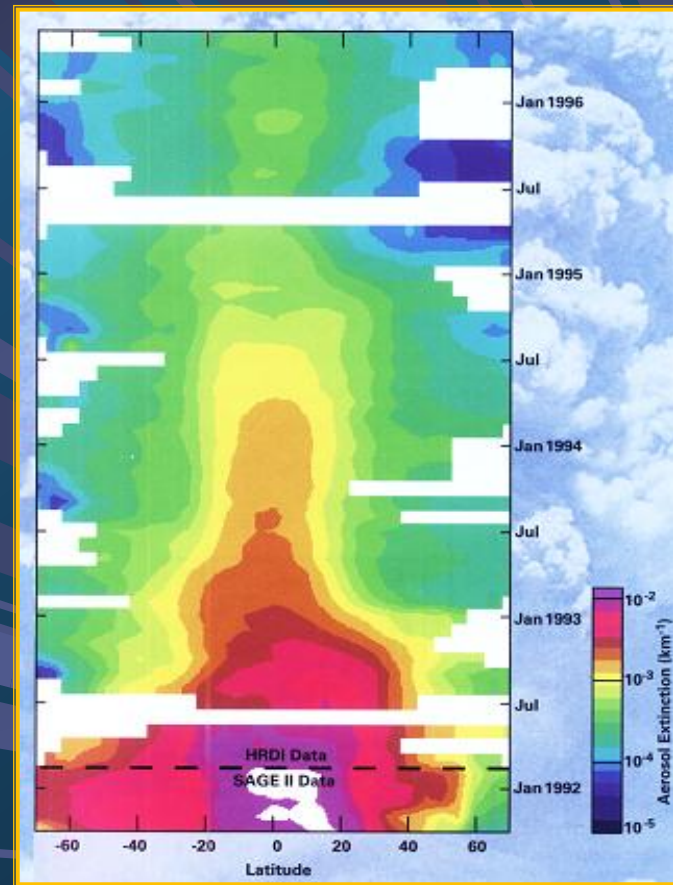
# Возмущение глобальной стратосферы после извержения вулкана Пинатубо



Распределение SO<sub>2</sub> после извержения Пинатубо (20 Мт)

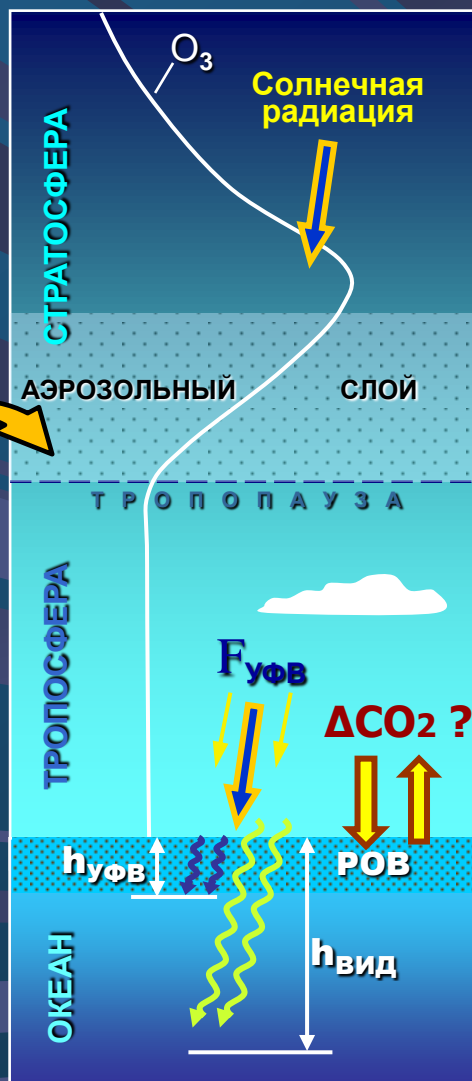
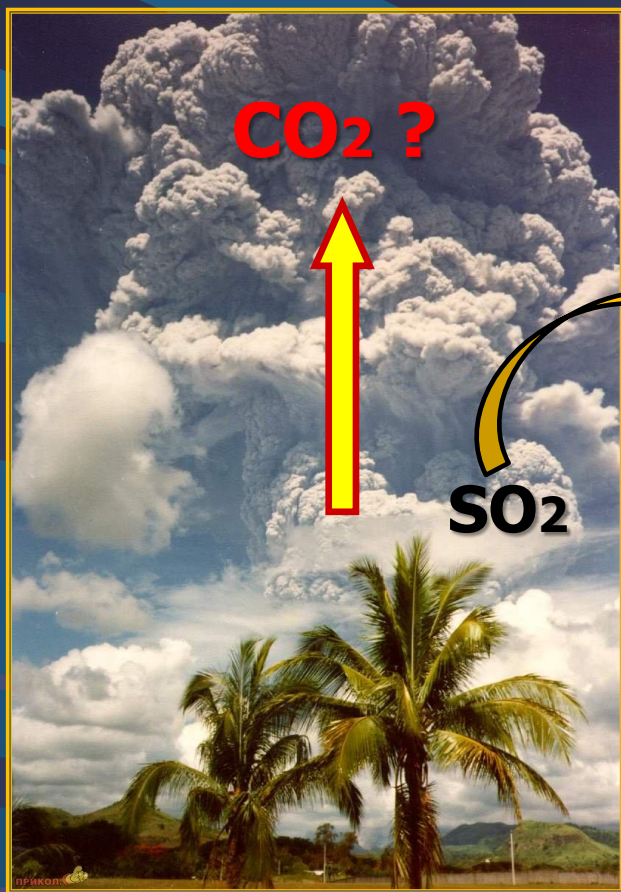


Извержение вулкана Пинатубо 14 июня 1991 г.



Широтно-временное распределение вулканогенного аэрозоля на высоте 25 км

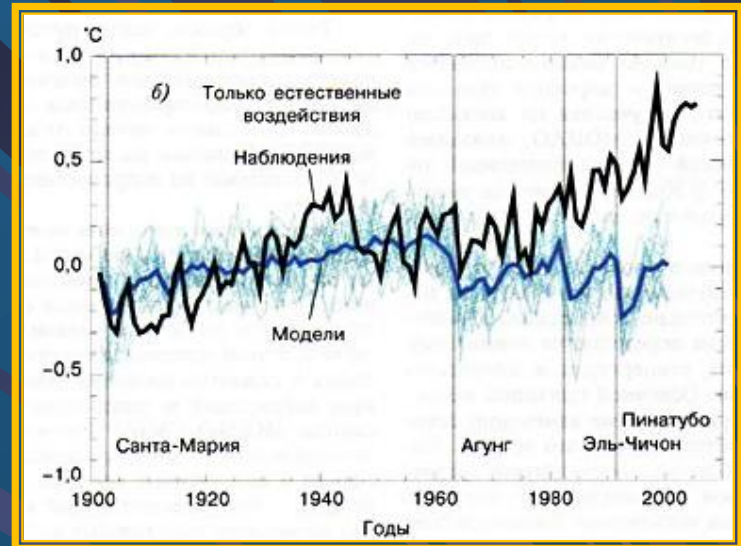
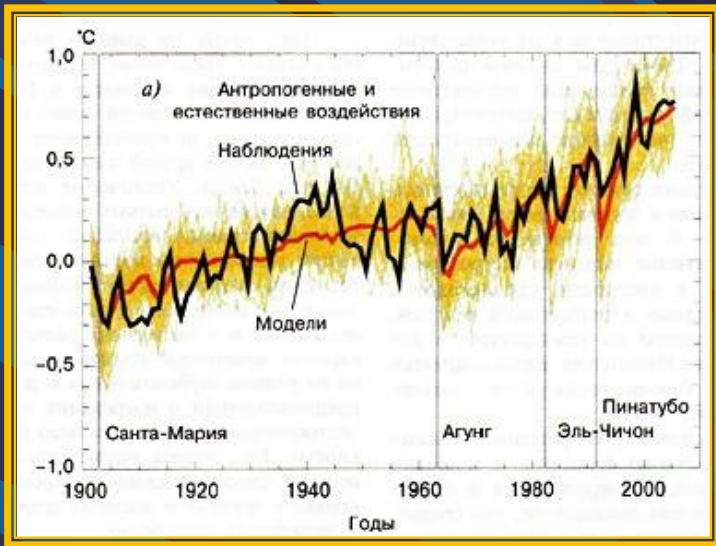
# Схема вулканогенного влияния на глобальный круговорот углерода



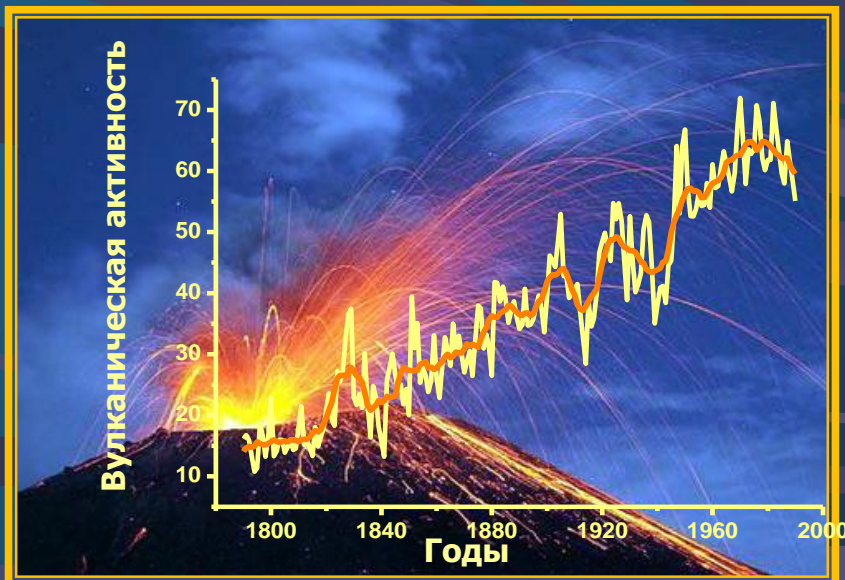
## Основные вопросы:

1. Количество  $CO_2$  при мощных извержениях вулканов?
2. Изменение баланса  $\Delta CO_2$  в обмене между атмосферой и океаном при росте ТПО?
3. Изменение баланса  $\Delta CO_2$  в обмене между атмосферой и растительностью?

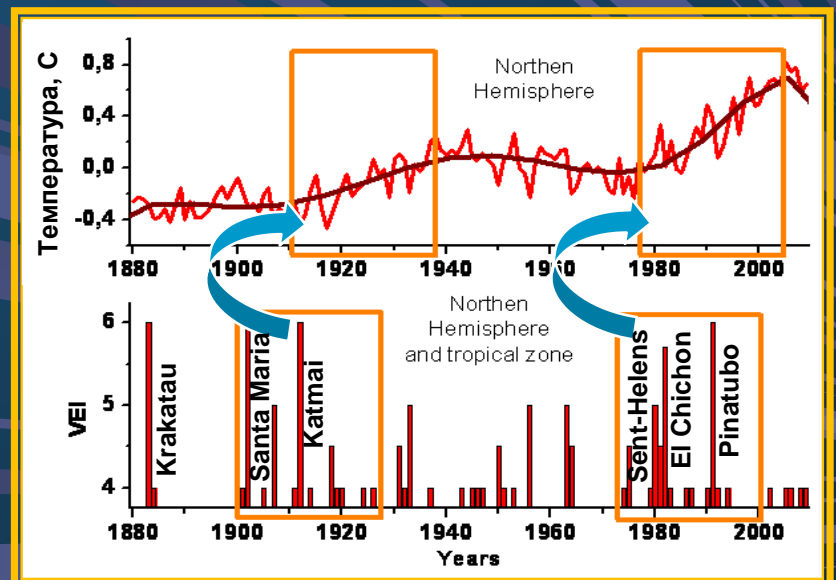




**Модельные оценки влияния на климат антропогенных (а) и естественных (б) факторов  
 ⇒ проблема N1: модельные оценки – 0,3 Гт С/год; данные вулканологов – 5-6 Гт С/год**



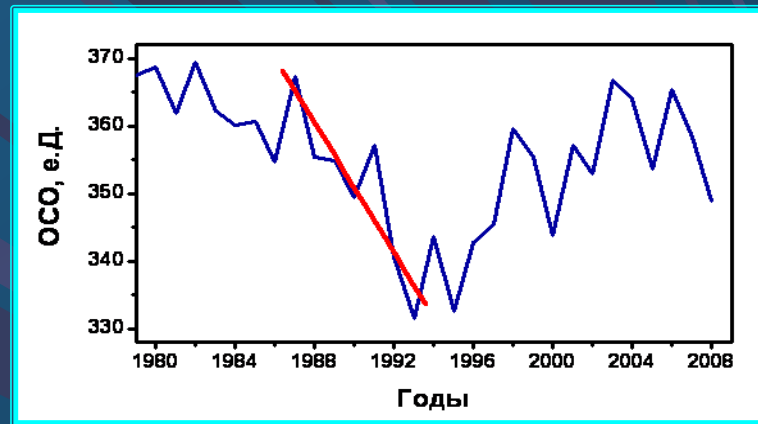
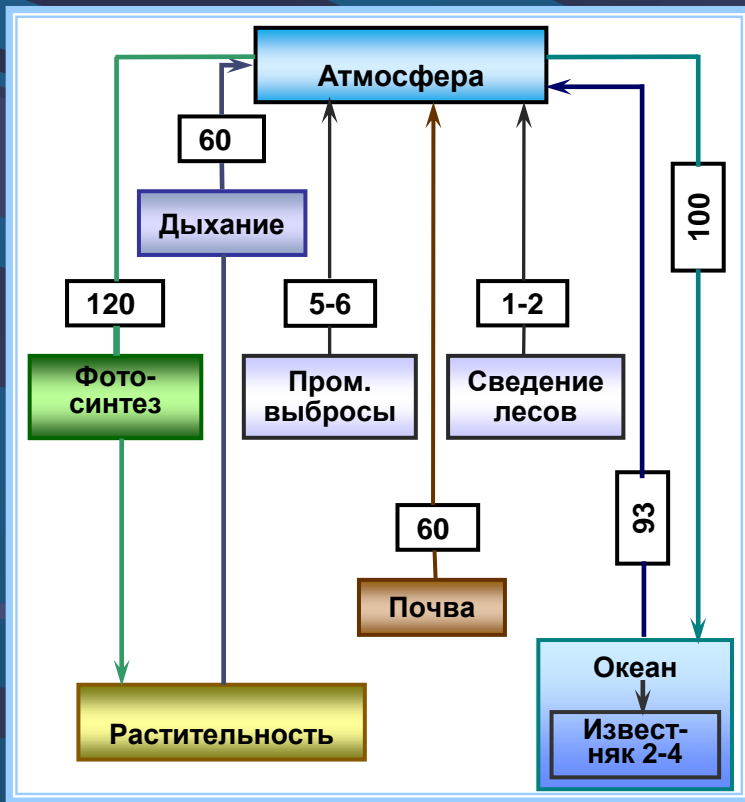
**Увеличение вулканической активности в период индустриальной революции**



**Ускорение роста температуры в периоды мощных частых извержений**

# Озоносферные изменения и углеродный цикл

Баланс глобального цикла углерода (потоки), Гт / год



Поведение  $\text{CO}_2$  в субарктической зоне по данным TOMS: тренд в период 1987-1993  $\sim 1\%$  в год

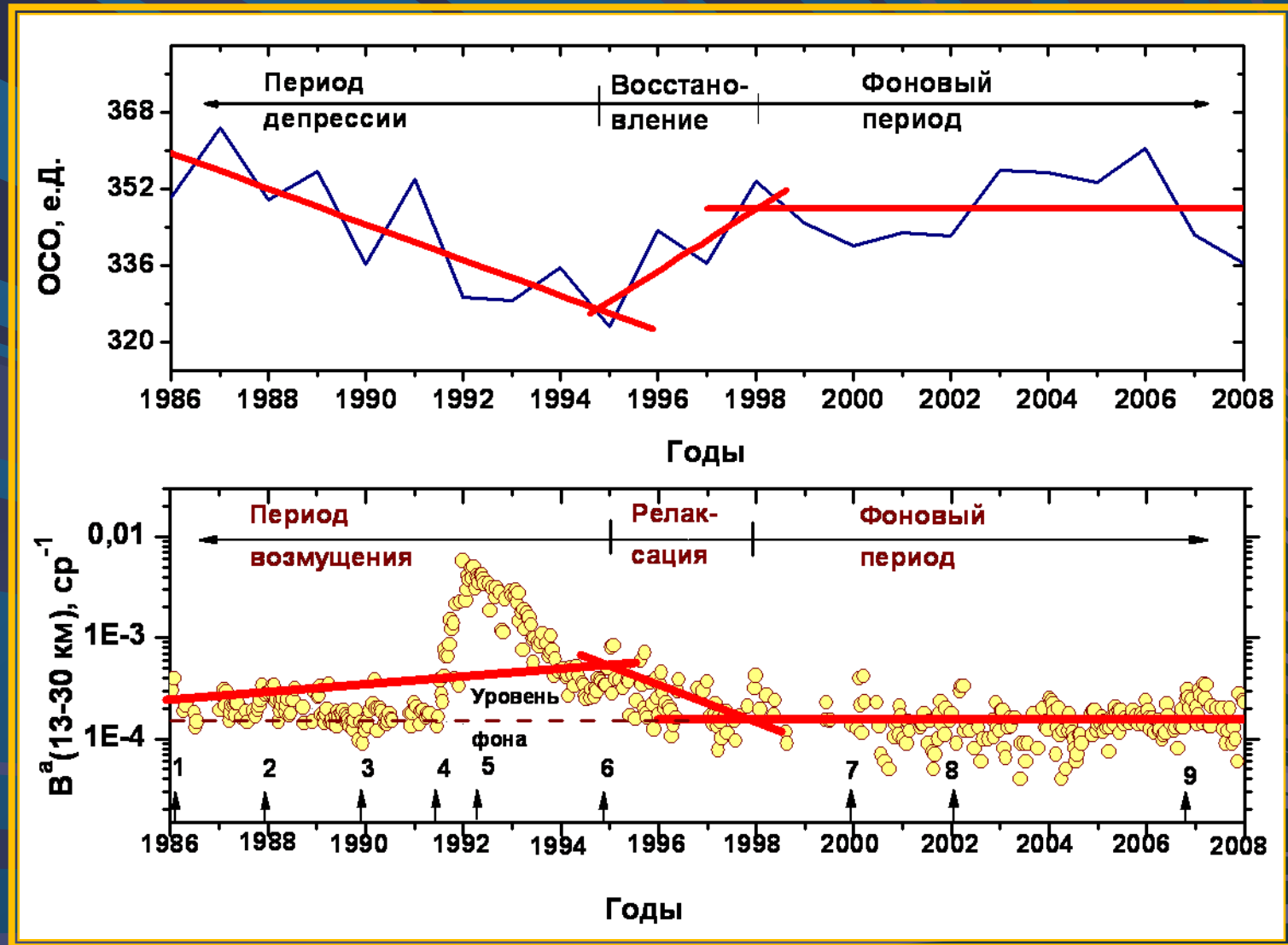
Увеличение УФ-В радиации на 1% в год



Проблема N2. Учет изменения баланса в поглощении  $\text{CO}_2$  океаном ( $\Delta \sim +2$  Гт С/год)

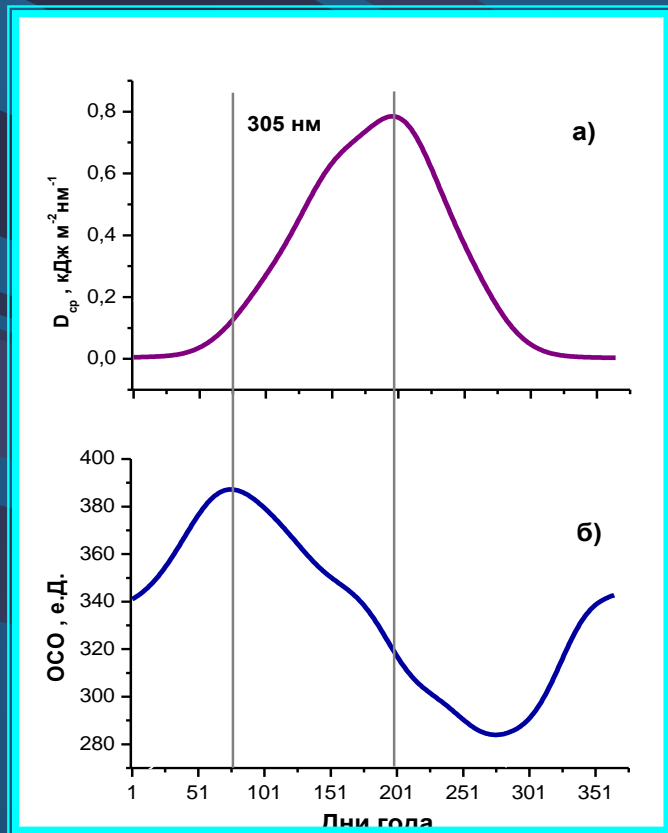
Проблема N3. Учет уменьшения фотосинтетического стока  $\text{CO}_2$  и усиления стрессового дыхания ( $\Delta \sim +2$  Гт С/год)

# Стратосферный озон и аэрозоль над Томском

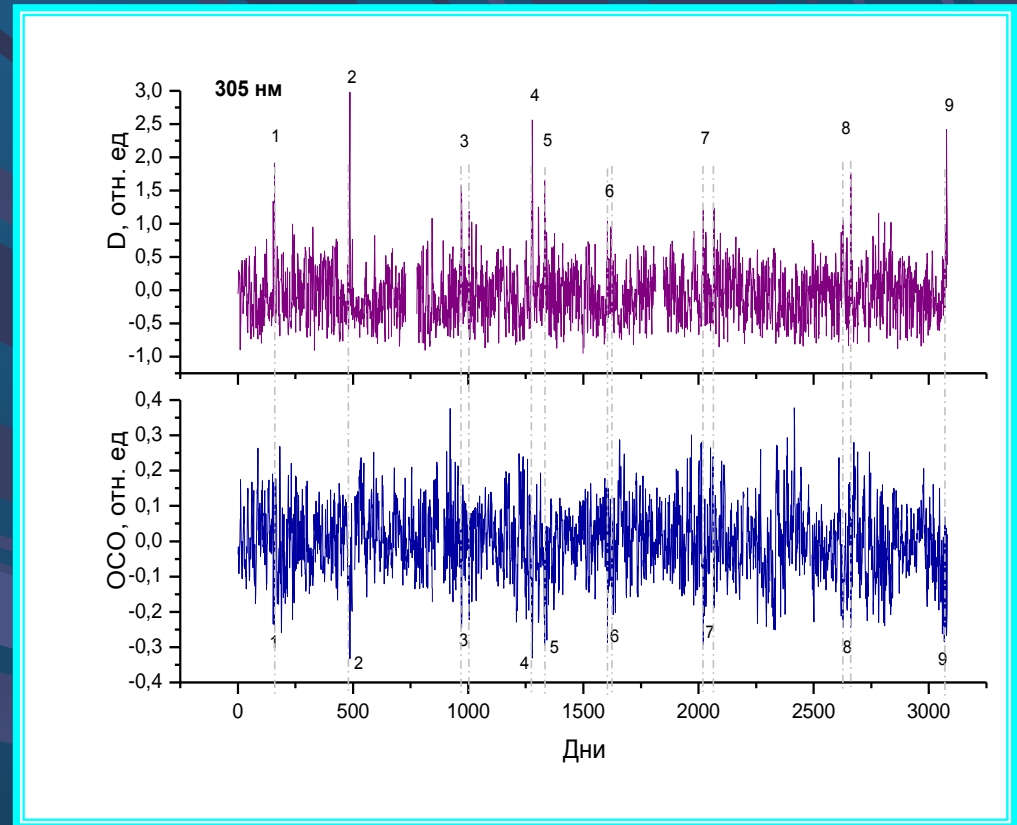


Стрелками обозначены годы извержений вулканов: 1 – Августин; 2 – Банда Апи; 3 – Келут; 4 – Пинатубо; 5 – Спурр; 6 – Рабаул; 7 – Гекла; 8 - Руанг 9 – Рабаул.

# Связь УФ-В радиации и ОСО



**Внутригодовой (сезонный) ход  
УФ-В радиации на длине волны  
305 нм (а) и ОСО (б) для станции  
Эдмонтон (Канада)**



**Временной ход нормированных отклонений  
УФ-В радиации на длине волны 305 нм и  
ОСО для станции Эдмонтон (Канада)**

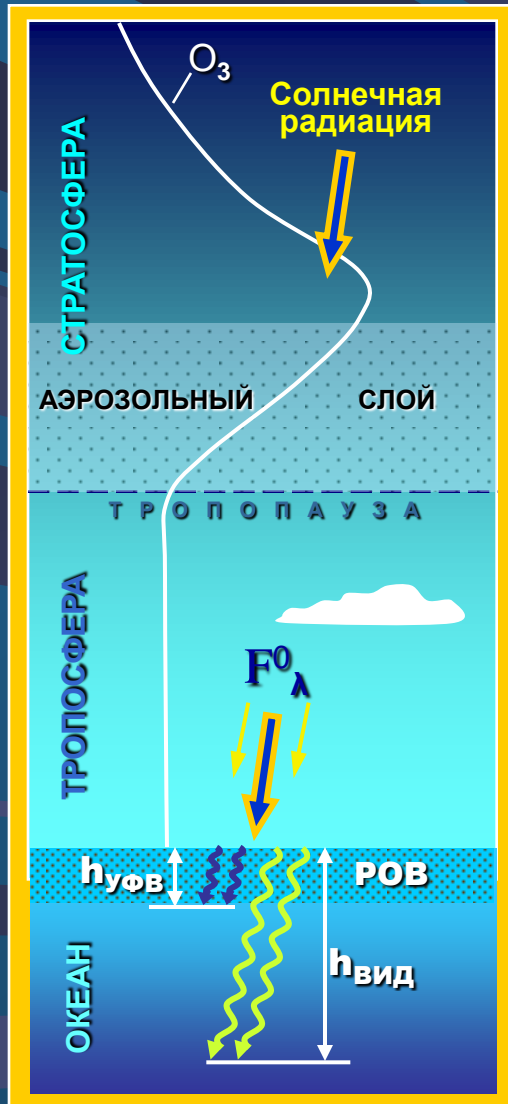
# Связь УФ-В радиации и ОСО

Коэффициент корреляции*			
Длина волны, нм	Полный период	По месяцу	По году
300	- 0,67	- 0,69	- 0,82
305	- 0,67	- 0,69	- 0,82
310	- 0,54	- 0,55	- 0,81
N	2896	100	8
R min (0,99)	- 0,10	- 0,26	- 0,81

\* период наблюдений на станции Эдмонтон (Канада) – 1996-2004 гг.



# Озоносферные изменения и температура поверхности океана



Скорость радиационного нагревания воды:

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

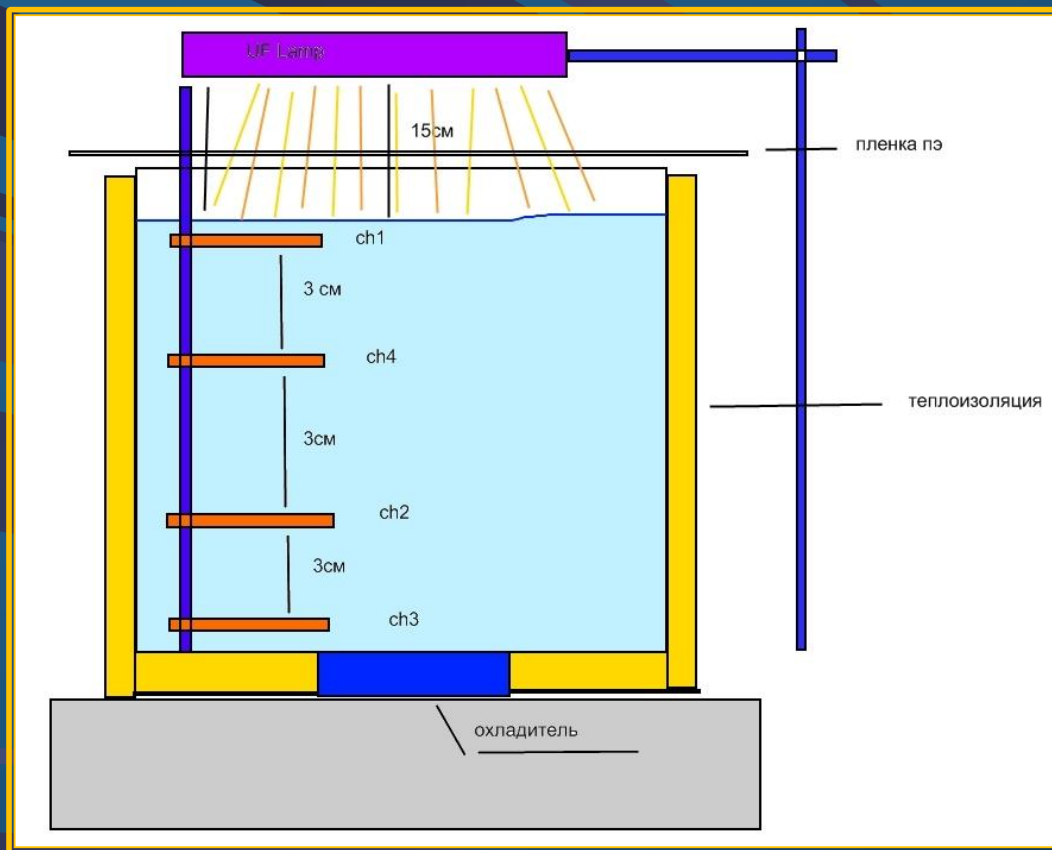
где  $\rho_V$  – плотность,  $c_p$  – удельная теплоемкость воды

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

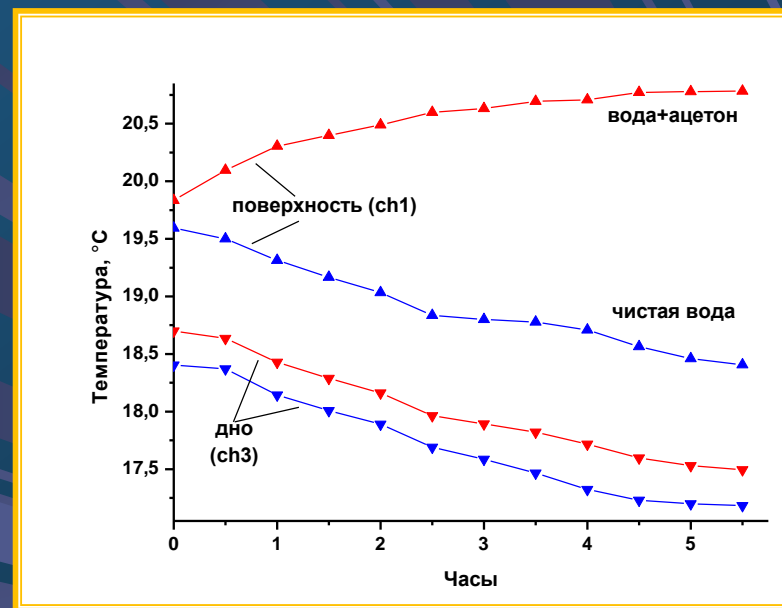
Не смотря на то, что  $F_{\text{уфв}}^0 / F_{\text{вид}}^0 < 10^{-3}$ , за счет  $\alpha_{\text{уфв}} / \alpha_{\text{вид}} > 10^4$  вклад УФ-В радиации в нагревании поверхности воды на порядок выше, чем в видимом диапазоне:  $h_{\text{уфв}} \sim 10^{-2}$  м,  $h_{\text{вид}} \sim 10^2$  м

$$\downarrow \text{O}_3 \rightarrow \uparrow F_{\text{уфв}}^0 \rightarrow \uparrow \text{ТПО}$$

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



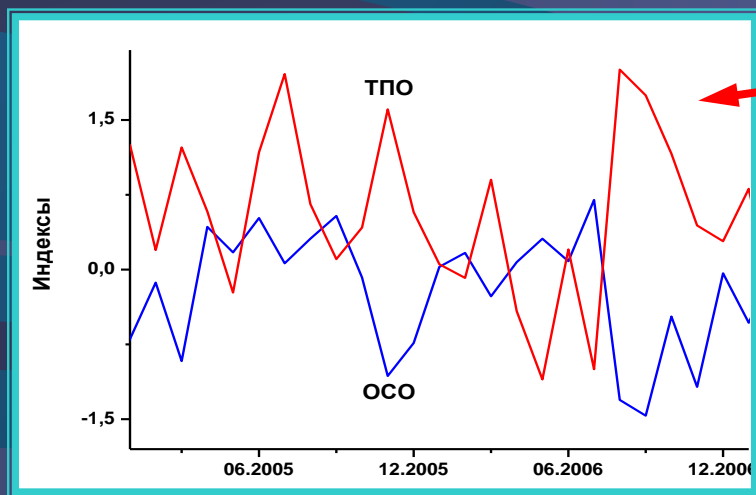
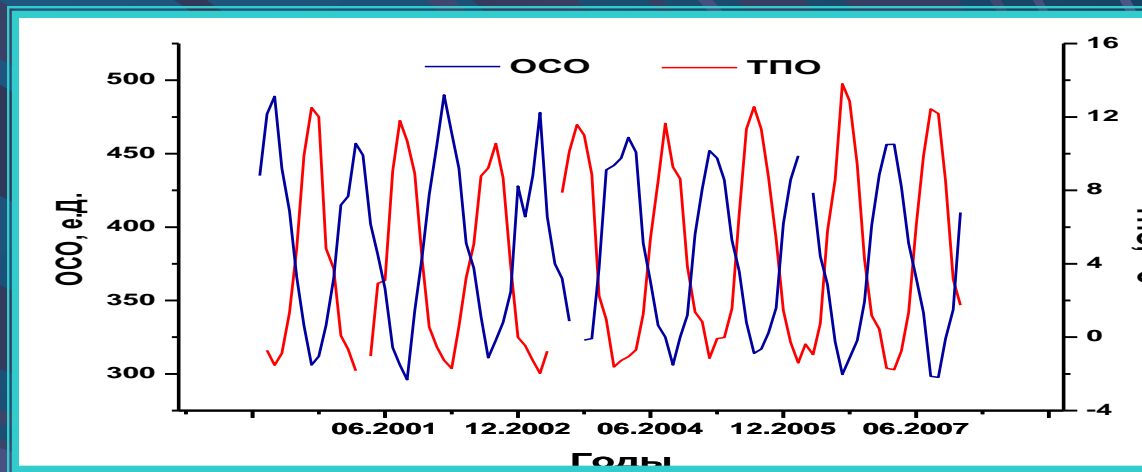
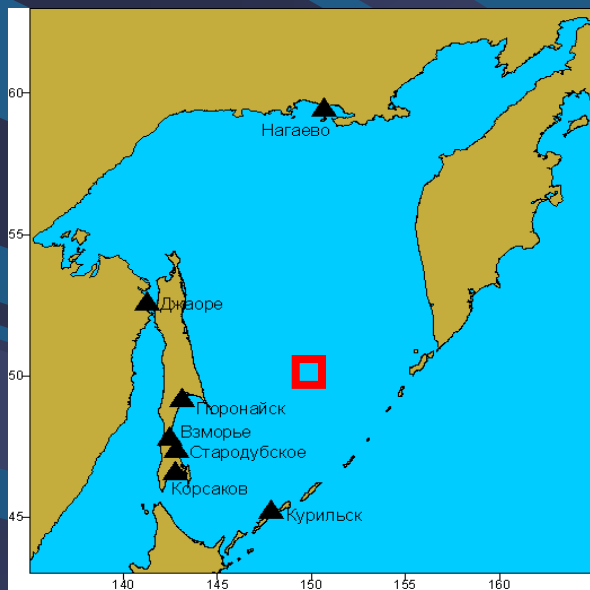
Блок-схема эксперимента: UF Lamp – Хе-Сl  
эксиплексная лампа (длина волны 308 нм);  
ch1-ch4 – температурные датчики



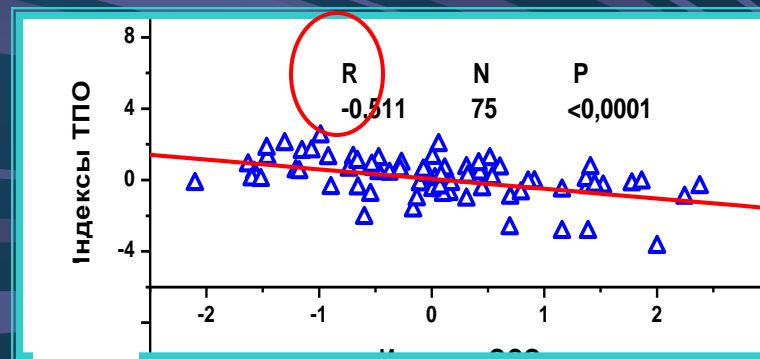
Изменения температурного режима в  
чистой воде и в смеси воды с  
ацетоном, активным поглотителем  
УФ-В радиации, у поверхности и у дна  
при принудительном охлаждении  
и УФ-В облучении ( $1 \text{ Вт/м}^2$ )

# 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.)

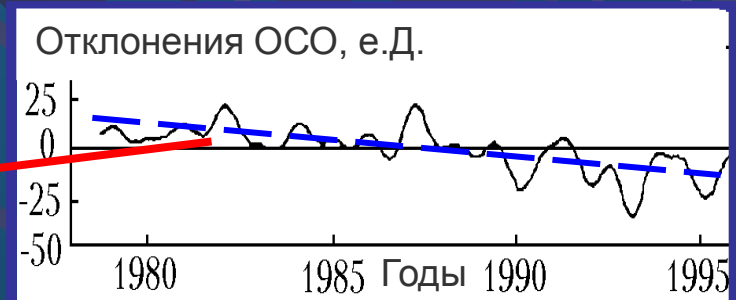
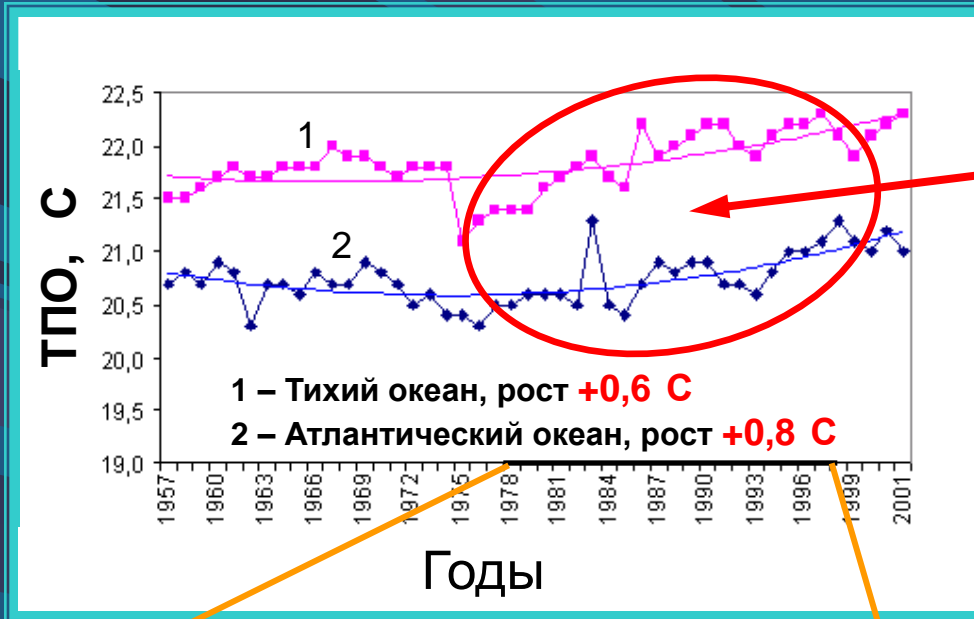


$$\Delta X_i = X_i - \text{норма}; \text{ индексы} = \frac{\Delta X_i - \Delta \bar{X}_i}{\text{СКО}}$$



Корреляция индексов ОСО и ТПО для Охотского моря

# Рост ТПО в период вулканогенной депрессии озоносферы



Отрицательный тренд глобального ОСО со скоростью 4% за 20 лет

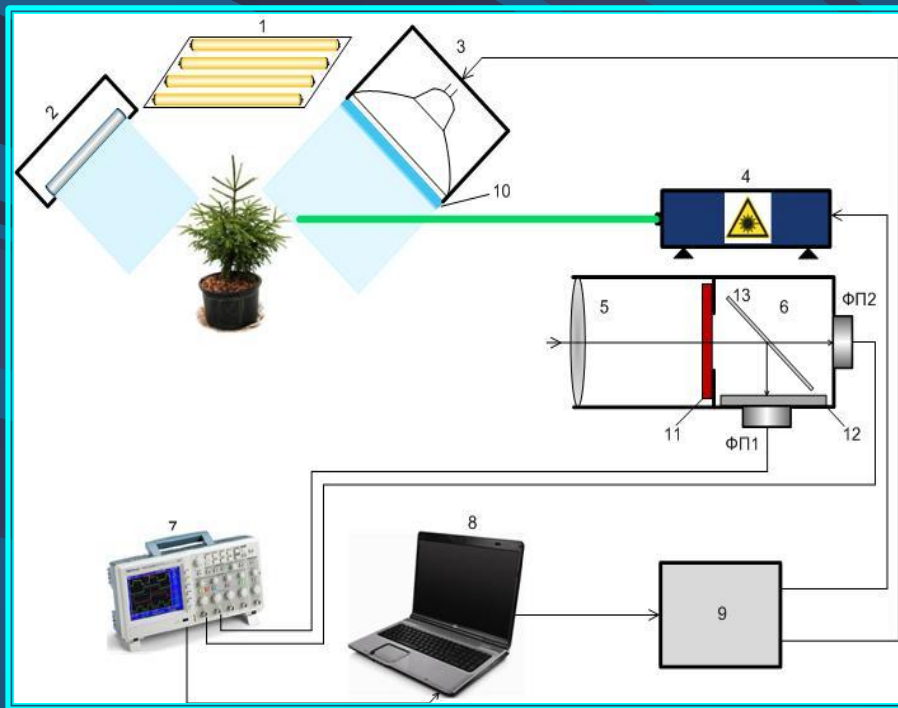
$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho_a c_p} \int_{\Delta\lambda} F_{\Delta\lambda}^0 \alpha_{\Delta\lambda} d\lambda$$



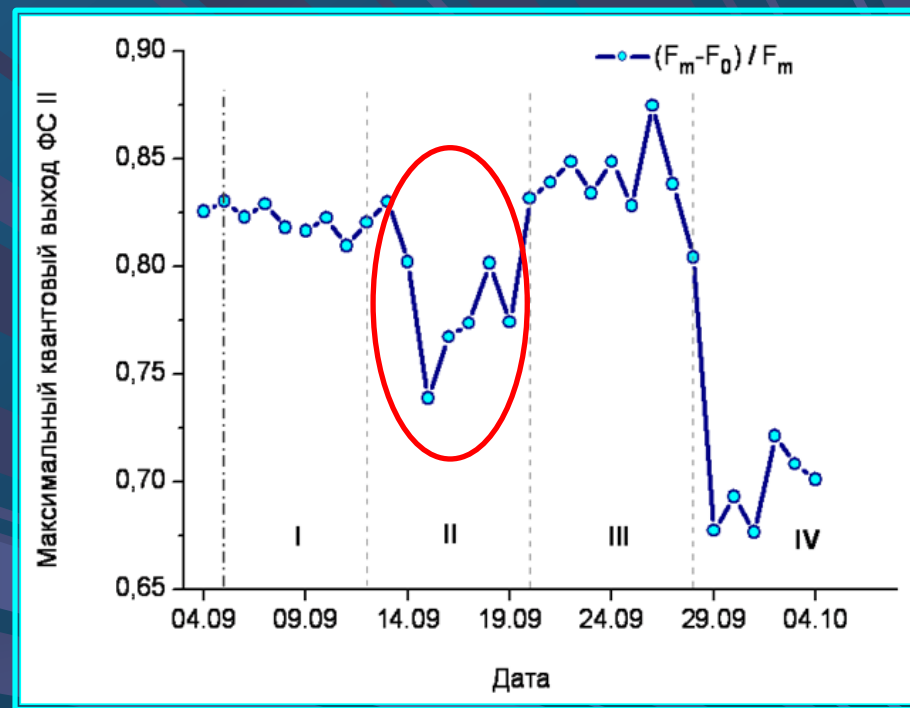
Аэрозольное возмущение стратосферы

При росте УФ-В радиации на 4% рост ТПО с учетом средней температуры поверхности Мирового океана 17,4°C должен составить:  
**17,4 С x 0,04 = 0,7 С.**

# Изменение фотосинтетической активности ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) при УФ-В облучении ( $1 \text{ Вт/м}^2$ )



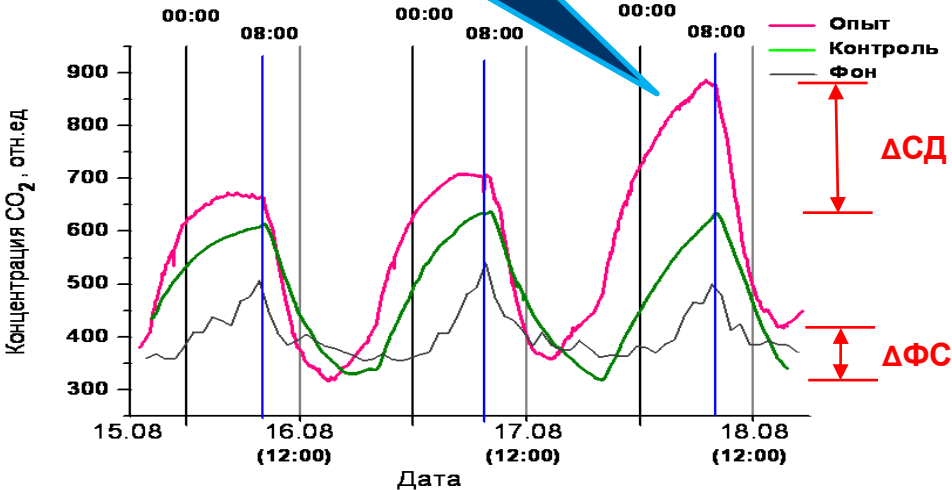
Блок-схема экспериментального стенда :  
1 – фитолампы; 2 – Хе-Cl – эксилампа (308 нм);  
3 – галогенная лампа; 4 – лазер; 5 – приемная система; 6, 7 – блок фоторегистрации; 8, 9 – блоки управления и сбора данных; 10, 11, 12 – светофильтры; 13 – делительная пластина



Временной ряд суточных изменений квантового выхода первичного разделения зарядов ФС II при воздействии УФ-В облучения ( $1 \text{ Вт/м}^2$ )

# Наблюдаемый фотосинтез 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 – ХеСl-эксилампа;  
РВ – реле времени;  
ГО – Газоанализатор  $\text{CO}_2$  Li-Cor

# Связь изменений ОСО и плотности годичных колец хвойных деревьев

Корреляция индексов ОСО, плотности годичных колец (ПГК), температуры (Т) и осадков (О) в Арозе

Длительность хронологии, гг.	Порода	Коэффициент корреляции (интервал перекрытия, гг.)		
		ПГК / ОСО (1926-1997)	ПГК / Т (1800-1997)	ПГК / О (1800-1997)
1788-1998	Кедровая сосна	<u>-0,79</u>	< 0,1	- 0,1
1690-1998	Ель европейская	<u>-0,71</u>	0,1	- 0,1
1792-1997	Лиственница	0,15	<u>0,3</u>	< 0,1

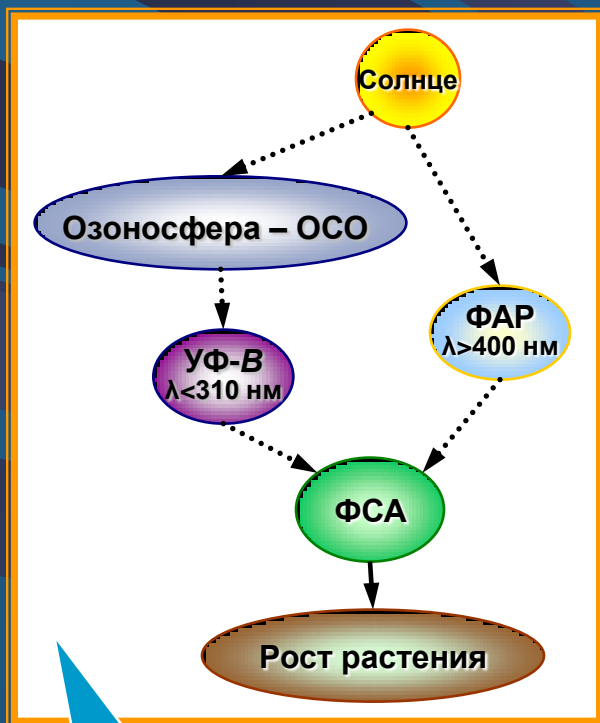
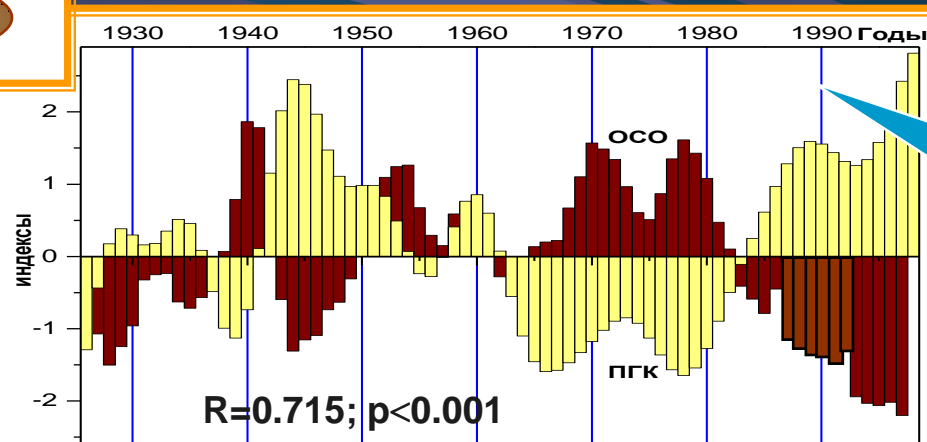
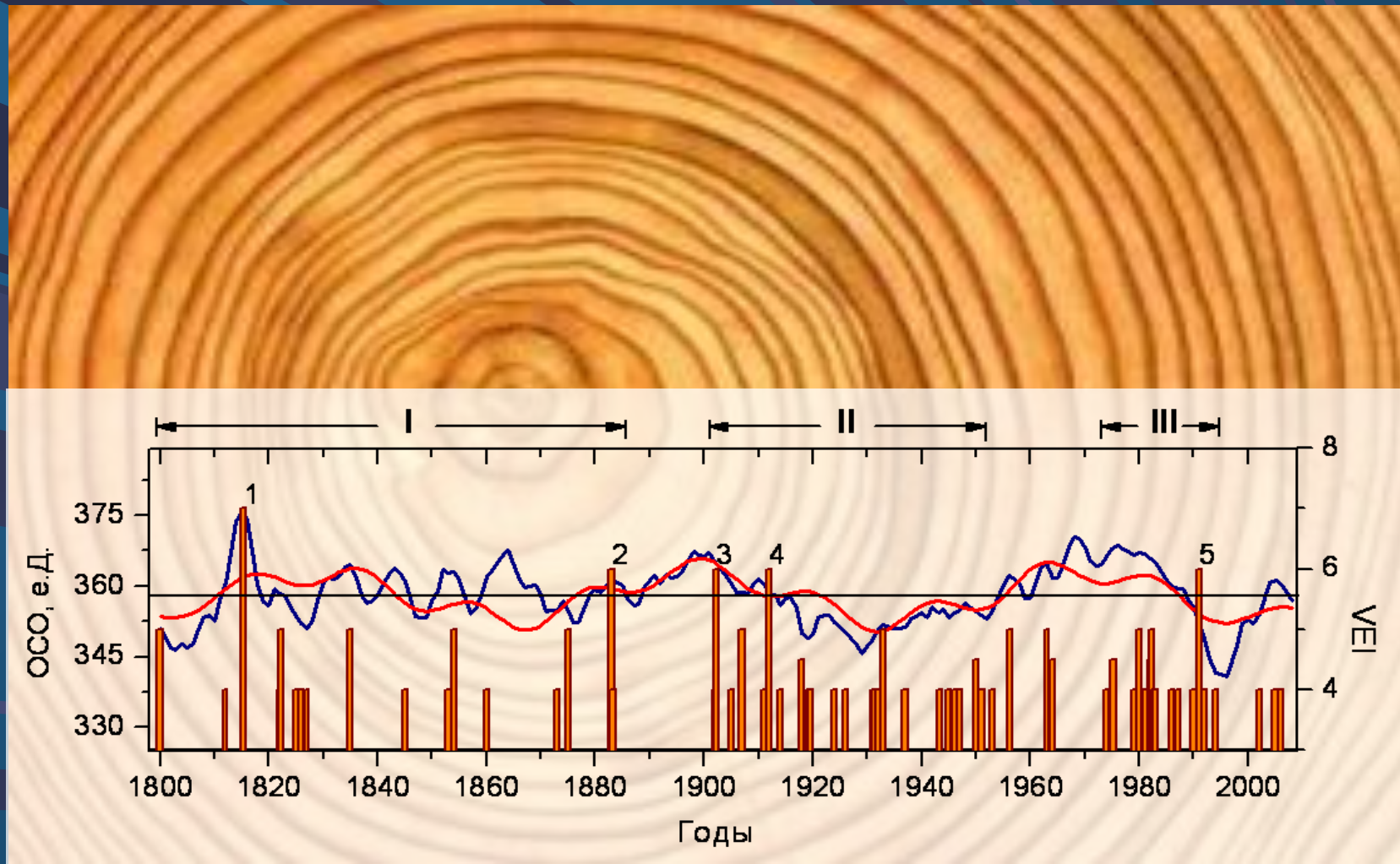


Схема влияния изменчивости ОСО на рост растения



Временной ход индексов ОСО и ПГК ели европейской

# Реконструкция ОСО по плотности годовых колец в субарктических широтах



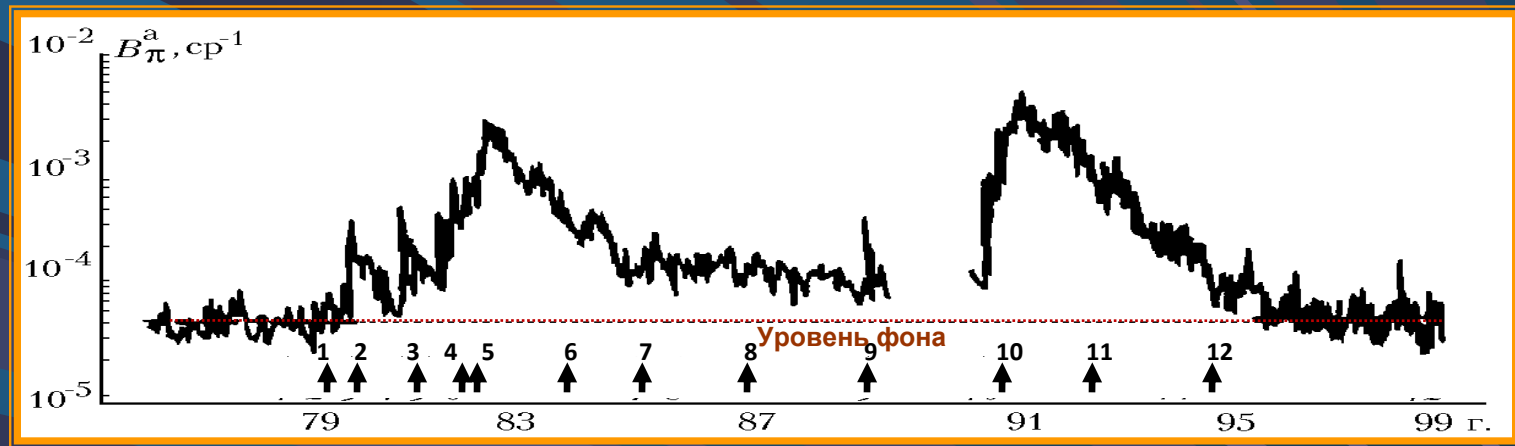
Столбики – хронология извержений с VEI ≥ 4: 1-Тамбора; 2-Кракатау; 3-Санта-Мария; 4-Катмай; 5-Пинатубо



# Активность тропических вулканов в период 1979-2008 гг.

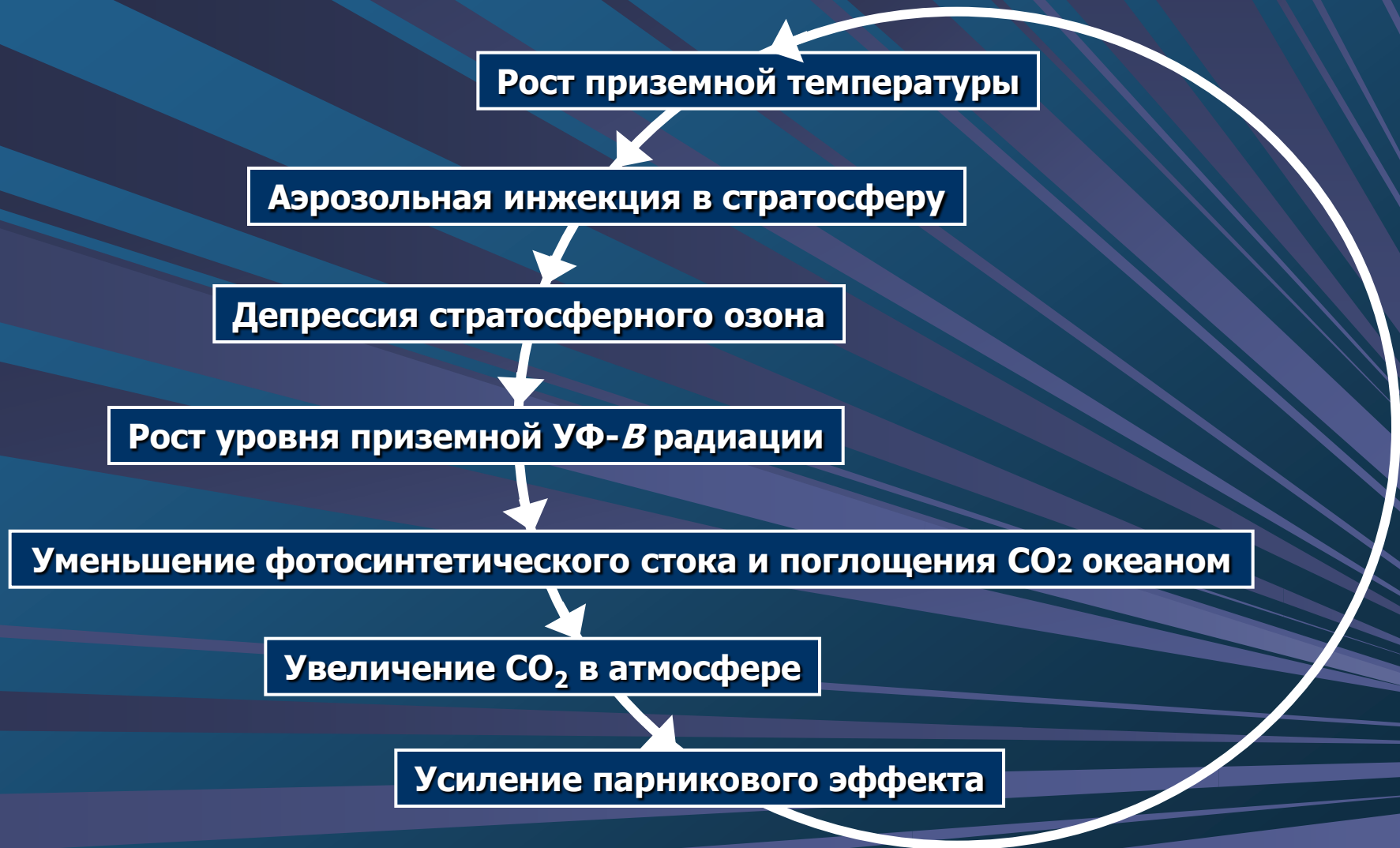
N	Год (месяц) извержения	Вулкан	Местность	VEI	Высота выброса, км
<b>15-летний период повышенный активности (1979-1994 гг.)</b>					
1	1981 (05)	Паган	Марианские о-ва	4	20
2	1982 (03)	Эль Чичон	Мексика	5	30
3	1982 (04)	Эль Чичон	Мексика	4+	24
4	1982 (05)	Галангунг	Индонезия	4	16
5	1983 (07)	Коло	Индонезия	4	16
6	1985 (11)	Руиз	Колумбия	4	20
7	1988 (08)	Банда Апи	Индонезия	4	17
8	1990 (02)	Келут	Индонезия	4	20
9	1991 (06)	Пинатубо	Филиппины	6	40
10	1994 (09)	Рабаул	Папуа-Новая Гвинея	4	18
<b>15-летний период пониженной активности (1995-2009 гг.)</b>					
1	2002 (09)	Руанг	Индонезия	4	18
2	2006 (10)	Рабаул	Папуа-Новая Гвинея	4	18

# Длительное вулканогенное возмущение стратосферного аэрозольного слоя с 1979 по 1998 г.



Ход интегрального коэффициента обратного аэрозольного рассеяния стратосферы ( $\lambda = 532 \text{ нм}$ ) по данным лидарных наблюдений. Стрелками обозначены годы извержений вулканов: 1-Суффриер; 2-Сент-Хеленс; 3-Паган; 4-5-Эль-Чичон; 6-Коло; 7-Руиз; 8-Августин; 9-Келут; 10-Пинатубо; 11-Спурр; 12-Рабаул.

# «Порочный круг» идеи аэрозольной регуляции климата



# Выводы

1. Необходимо найти возможность корректного учета вулканических выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу, особенно при частых мощных извержениях.
2. Необходимо корректно учитывать вклад опережающего роста ТПО по сравнению с ростом приземных температур в углеродном цикле и понять природу опережения.
3. Нужно корректно учитывать возникающий дисбаланс между фотосинтетическим стоком CO<sub>2</sub> и дыханием растительности в условиях длительного стресса из-за роста УФ-В радиации.

## Цена вопроса:

вулканогенный фактор – +9 Гт С/год

антропогенный фактор – +7 Гт С/год

**Спасибо  
за  
внимание**