

# CITES-2015

## Практические занятия

Морару Е.И. (ИМКЭС СО РАН, Томск)

Ульянов Д.В. (ТГУ, Томск)

Бордолимов С. (ТГУ, Томск)

Кириллов А. (ТГУ Томск)

# 1. Перенос пассивной примеси

## Уравнение Переноса

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEV, \dots, \theta_{i+1} = \theta_i + \frac{1}{2}(F(\theta_i) - F(\theta_{i-1}))$

Численное решение уравнения Переноса  
диапазон y (0.000007000 : 0.8364) шаг 209 из 209 (0.19 ; -0.24)

эксперимент: курант 0.9569376, шаг по времени 0.02, скорость 0.2392344, число узлов 200, функция (выделено), вид Гаусс, ширина 0.2, положение центра 0.5, схема по времени Разность первого, схема по пространству Направленная (в), шагов в обороте 209, число оборотов 1

выполнить решение, отобразить график, масштаб, сохранить картинку

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Выбор типа графика иллюстрирующего результаты расчетов.

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (вправо) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEV, \dots, \theta_{i+1} = \theta_i + \frac{1}{2}(F(\theta_i) - F(\theta_{i-1}))$

Ошибка L2 численного решения уравнения Переноса  
диапазон y (0.000001309 : 0.02643) шаг 0 из 0 (0.36 ; -0.23)

эксперимент: курант 0.9569376, шаг по времени 0.02, скорость 0.2392344, число узлов 200, функция (выделено), вид Гаусс, ширина 0.2, положение центра 0.5, схема по времени Разность первого, схема по пространству Направленная (в), шагов в обороте 209, число оборотов 1

выполнить расчет, отобразить ошибку L2, масштаб, сохранить картинку

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Программа разработана в Институте вычислительной математики Российской академии наук.

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (вправо) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEV, \dots, \theta_{i+1} = \theta_i + \frac{1}{2}(F(\theta_i) - F(\theta_{i-1}))$

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEV, \dots, \theta_{i+1} = \theta_i + \frac{1}{2}(F(\theta_i) - F(\theta_{i-1}))$

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEV, \dots, \theta_{i+1} = \theta_i + \frac{1}{2}(F(\theta_i) - F(\theta_{i-1}))$

Численное решение уравнения Переноса  
диапазон y (0.00001100 : 0.8561) шаг 251 из 251 (0.45 ; -0.23)

эксперимент: курант 0.9561748, шаг по времени 0.01994, скорость 0.1998025, число узлов 240, функция (выделено), вид Гаусс, ширина 0.2, положение центра 0.5, схема по времени Разность первого, схема по пространству Направленная (в), шагов в обороте 251, число оборотов 1

выполнить расчет, отобразить график, масштаб, сохранить картинку

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Статус загрузки сервера, на котором проводятся расчеты. Зеленый - сервер свободен. Красный - сервер занят. При запуске в этот момент задача будет находится в очереди на более 7 с.

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (вправо) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEV, \dots, \theta_{i+1} = \theta_i + \frac{1}{2}(F(\theta_i) - F(\theta_{i-1}))$

Ошибка L2 численного решения уравнения Переноса  
диапазон y (0.000002964 : 0.02576) шаг 0 из 0 (0.58 ; -0.23)

эксперимент: курант 0.9561748, шаг по времени 0.01994, скорость 0.1998025, число узлов 240, функция (выделено), вид Гаусс, ширина 0.2, положение центра 0.5, схема по времени Разность первого, схема по пространству Направленная (в), шагов в обороте 251, число оборотов 1

выполнить расчет, отобразить ошибку L2, масштаб, сохранить картинку

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Выбор типа графика иллюстрирующего результаты расчетов.

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (вправо) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEW$

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Схема по времени: Разность первого

Схема по пространству: Направленная (в)

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Численное решение уравнения Переноса шаг 209 из 209 (0.02; -1.48)  
диапазон y (-0.9832; 0.9832)

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Выбор типа графика иллюстрирующего результаты расчетов.

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEW$

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (в) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Ошибка L2 численного решения уравнения Переноса шаг 0 из 0 (-38.38; 0.60)  
диапазон y (4.7034e-7; 0.01190)

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Выбор типа графика иллюстрирующего результаты расчетов.

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEW$

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (вправо) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

Численное решение уравнения Переноса шаг 251 из 251 (0.43; -1.48)  
диапазон y (-0.9857; 0.9857)

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Выбор типа графика иллюстрирующего результаты расчетов.

Эксперимент: Перенос пассивной примеси

Основные уравнения:  $k = 2, \dots, NLEW$

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Схема по времени: Разность первого порядка

Схема по пространству: Направленная (вправо) разность первого порядка

Параметр вязкости  $\mu$ : 0.0

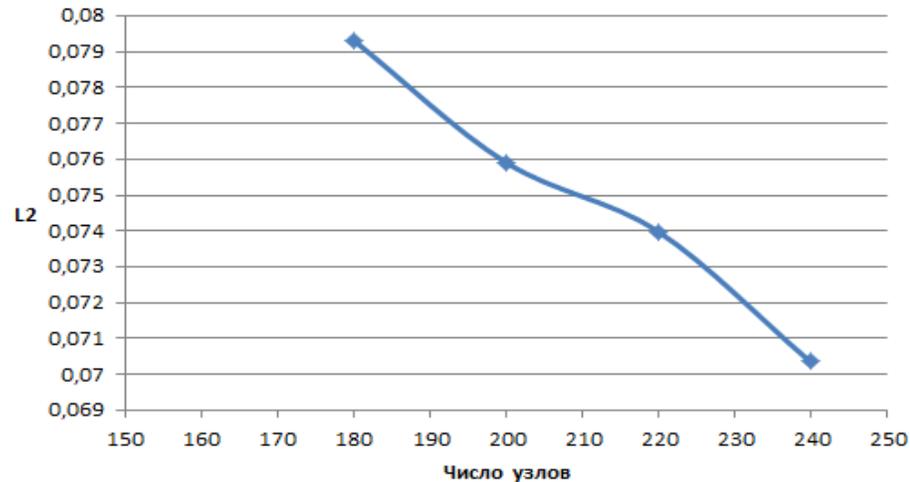
Ошибка L2 численного решения уравнения Переноса шаг 0 из 0 (-8.40; 0.60)  
диапазон y (0.00004227; 0.01011)

Уравнение Переноса:  $\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$

Контекстная справка: Статус загрузки сервера, на котором проводятся расчеты. Зеленый - сервер свободен. Красный - сервер занят. При запуске в этот момент задача будет находится в очереди не более 7 с.

# Зависимость ошибки от числа узлов

Прямоугольная функция Ошибка L2



Функция Гаусса Ошибка L2

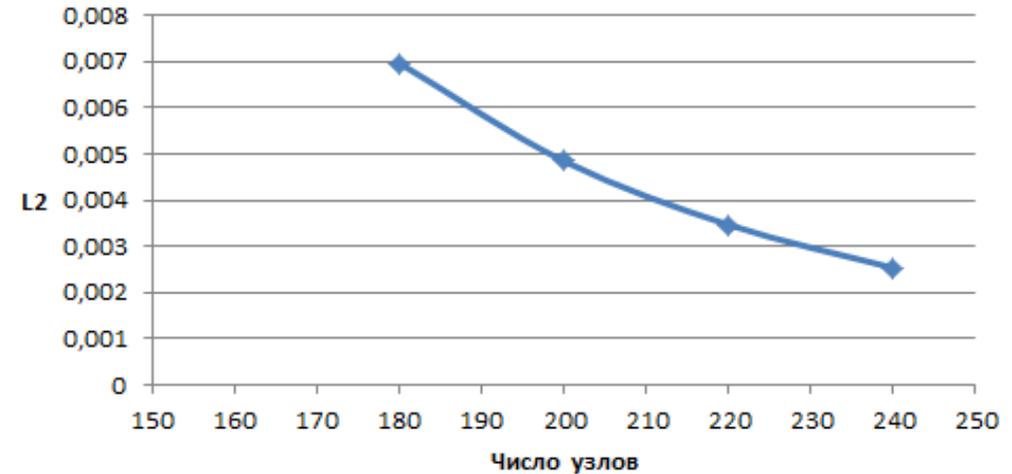


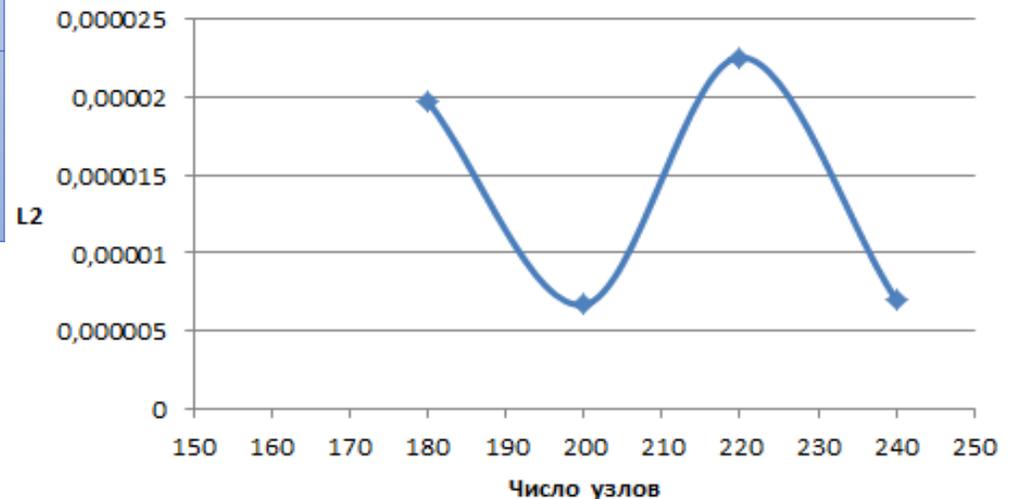
Схема по времени:

Схема Рунге-Кутта

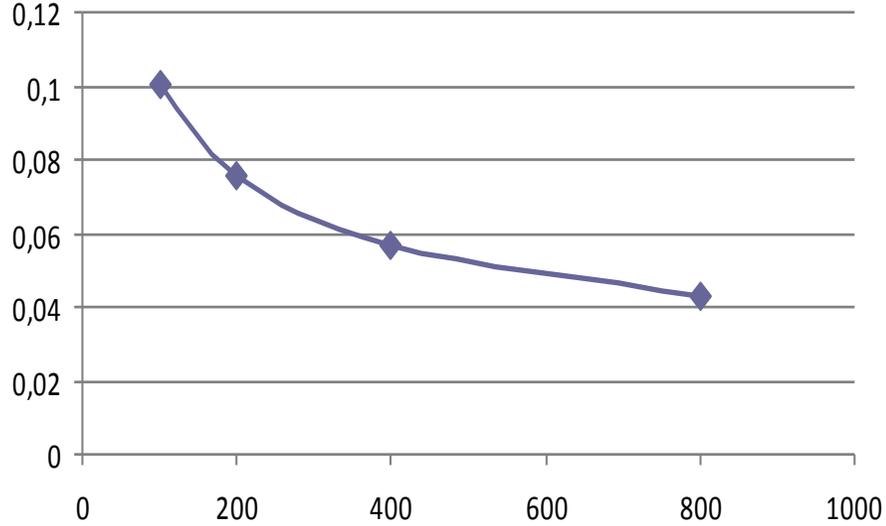
Схема по пространству:

Центральная разность  
четвертого порядка с  
направленным фильтром

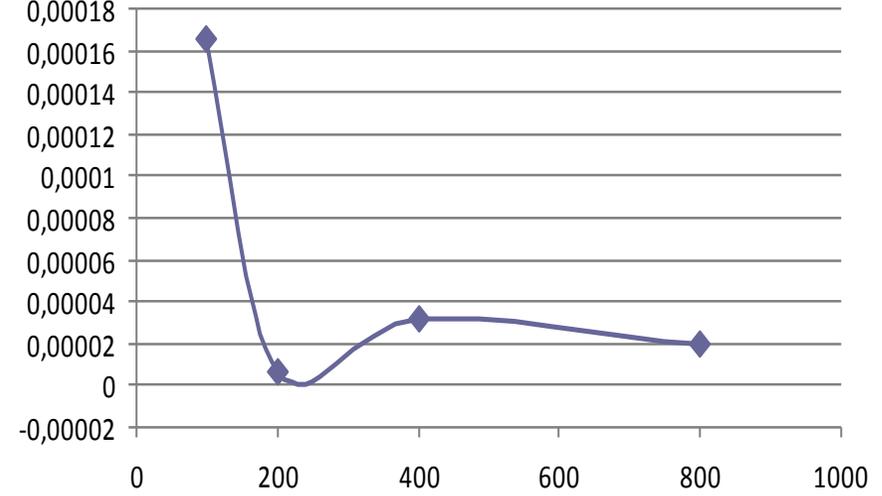
Функция синус Ошибка L2



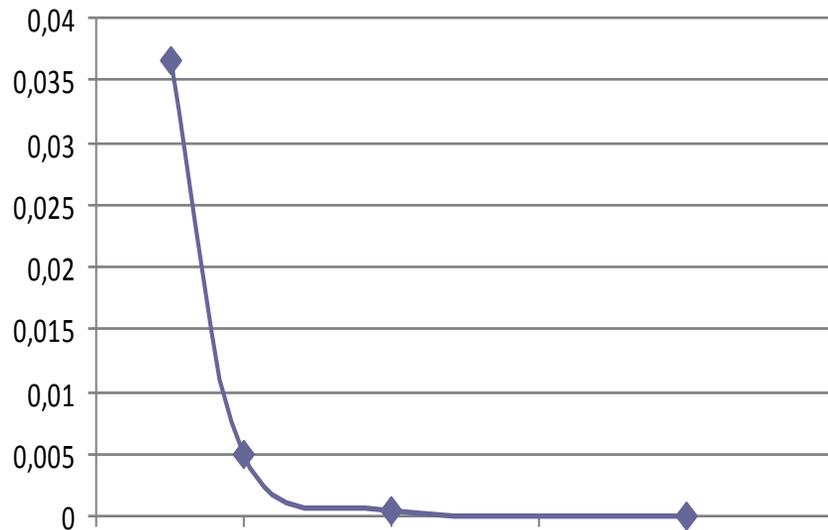
**Прямоугольная функция Ошибка L2**



**Функция Синус Ошибка L2**



**Функция Гаусса Ошибка L2**



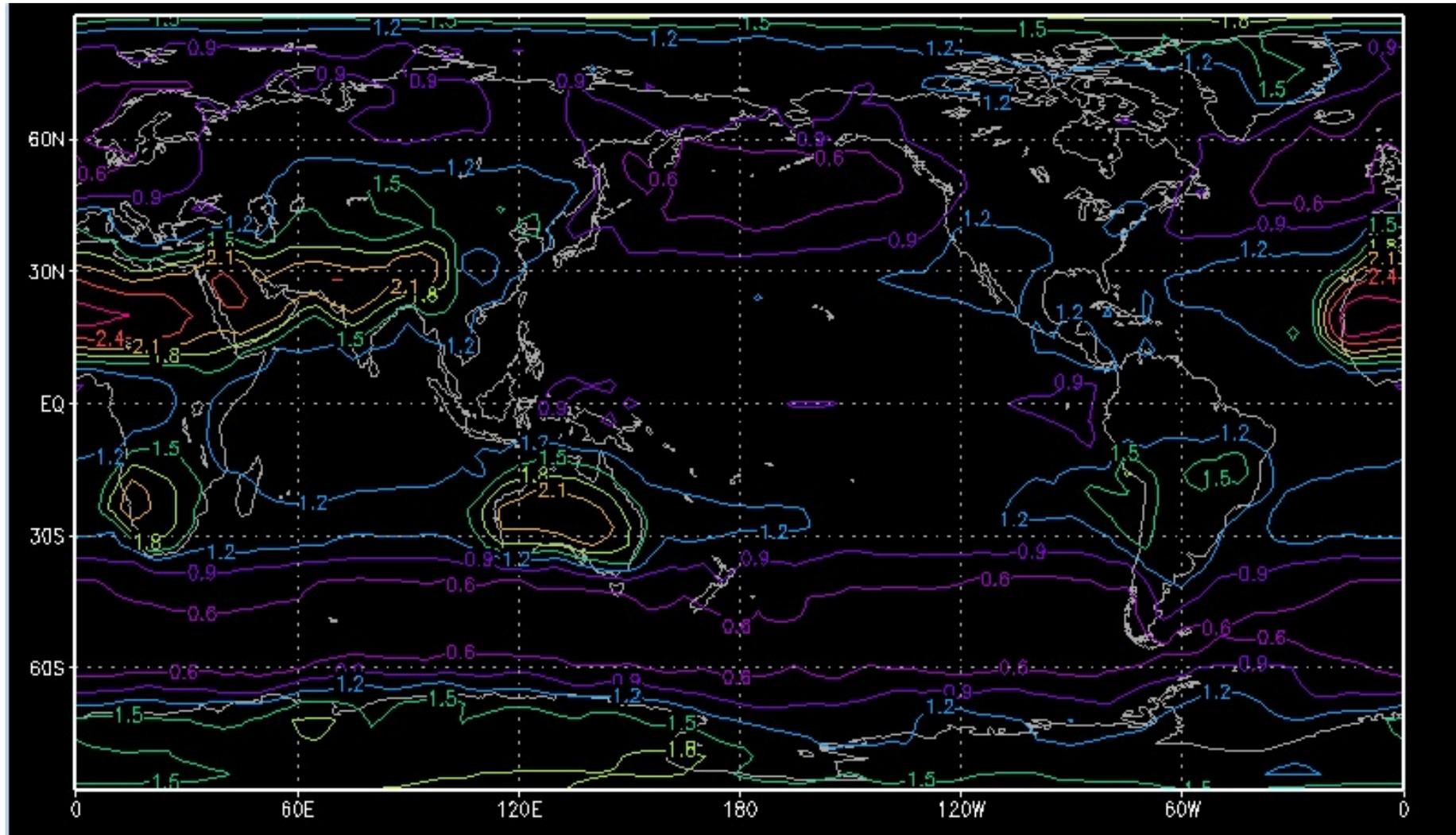
<b>Схема по времени:</b>	<b>Схема Рунге-Кутта</b>
<b>Схема по пространству:</b>	<b>Центральная разность четвертого порядка с направленным фильтром</b>

## 2. Аэрозоли и малые газовые составляющие и климат

# Цели задания

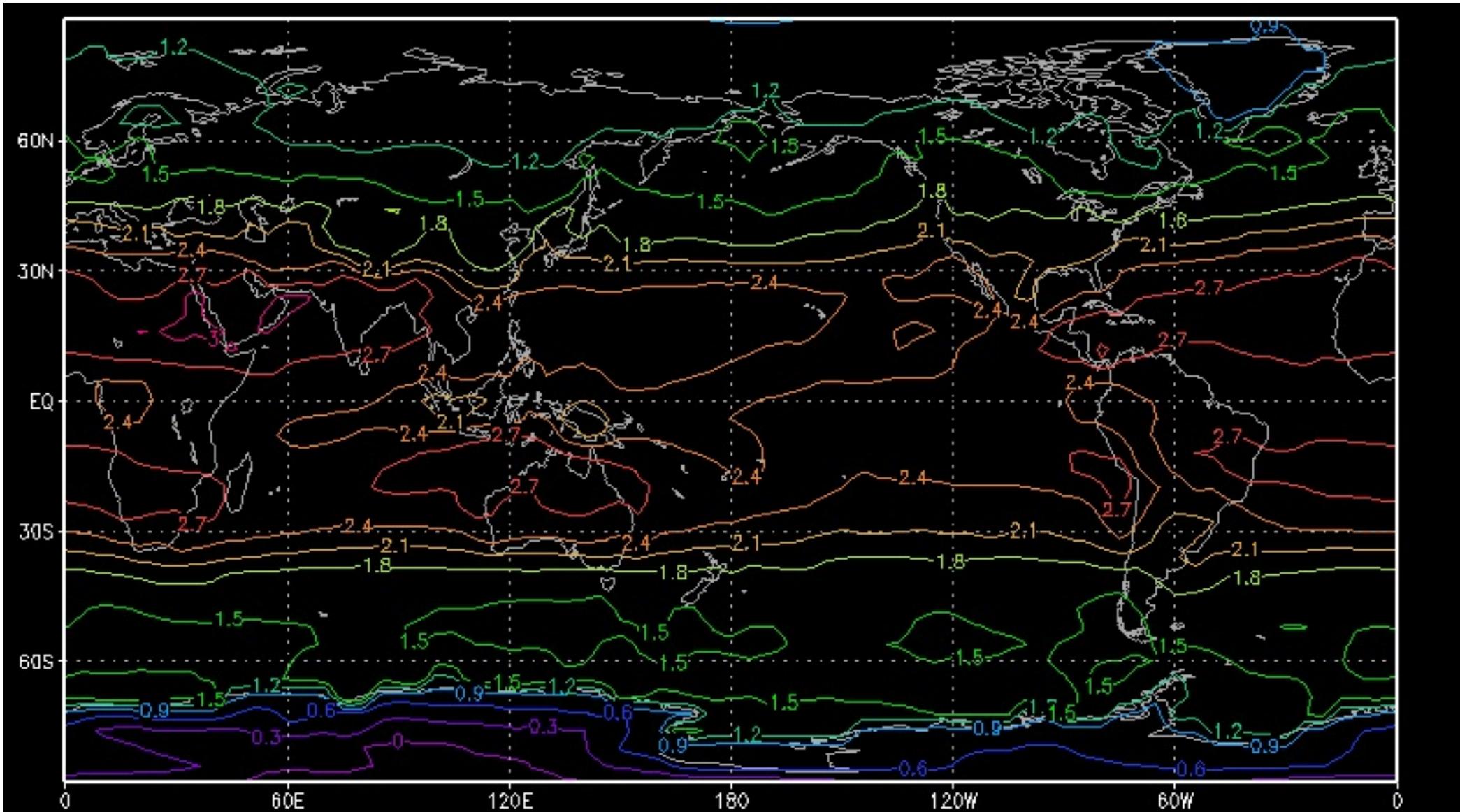
- Анализ пространственно-временной изменчивости радиационного форсинга от закиси азота ( $N_2O$ ) на верхней границе атмосферы и на поверхности земли;
- Оценка чувствительности климата к увеличению концентрации  $N_2O$  в 10 раз

# Длинноволновый радиационный форсинг на поверхности Земли за год



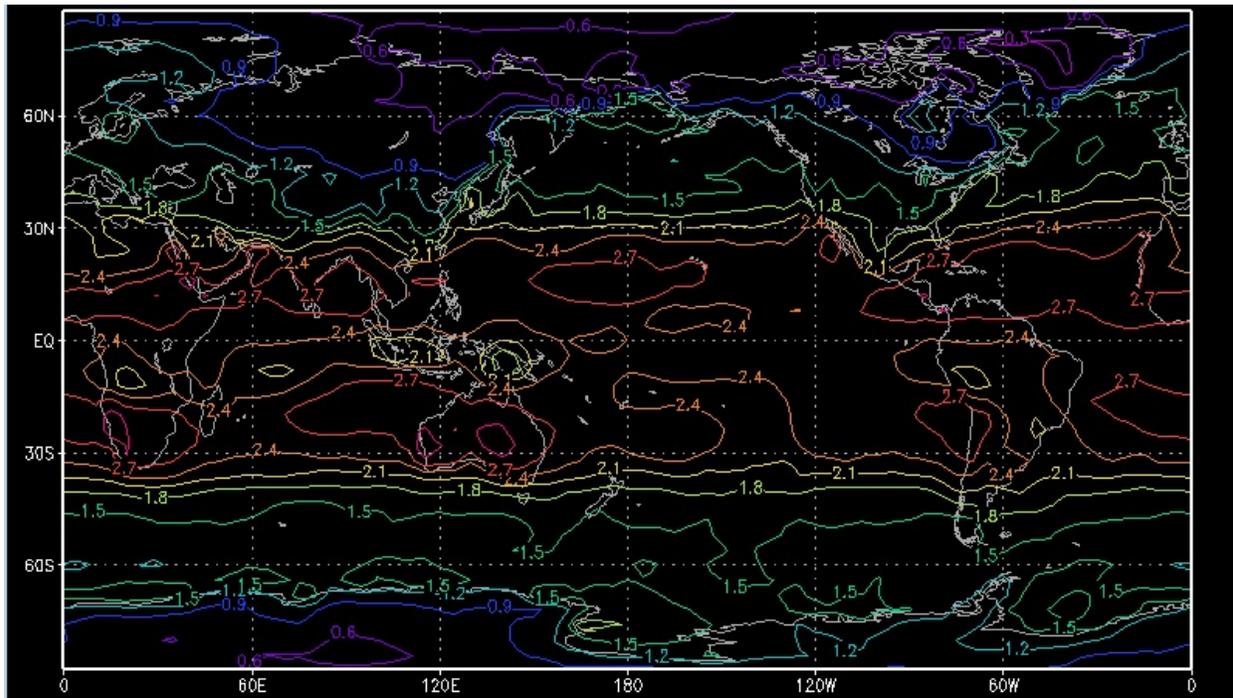
Длинноволновый радиационный форсинг, осреднённый по всей земле =  $205,5 \text{ Вт/м}^2$

# Длинноволновый радиационный форсинг на верхней границе атмосферы Земли за год

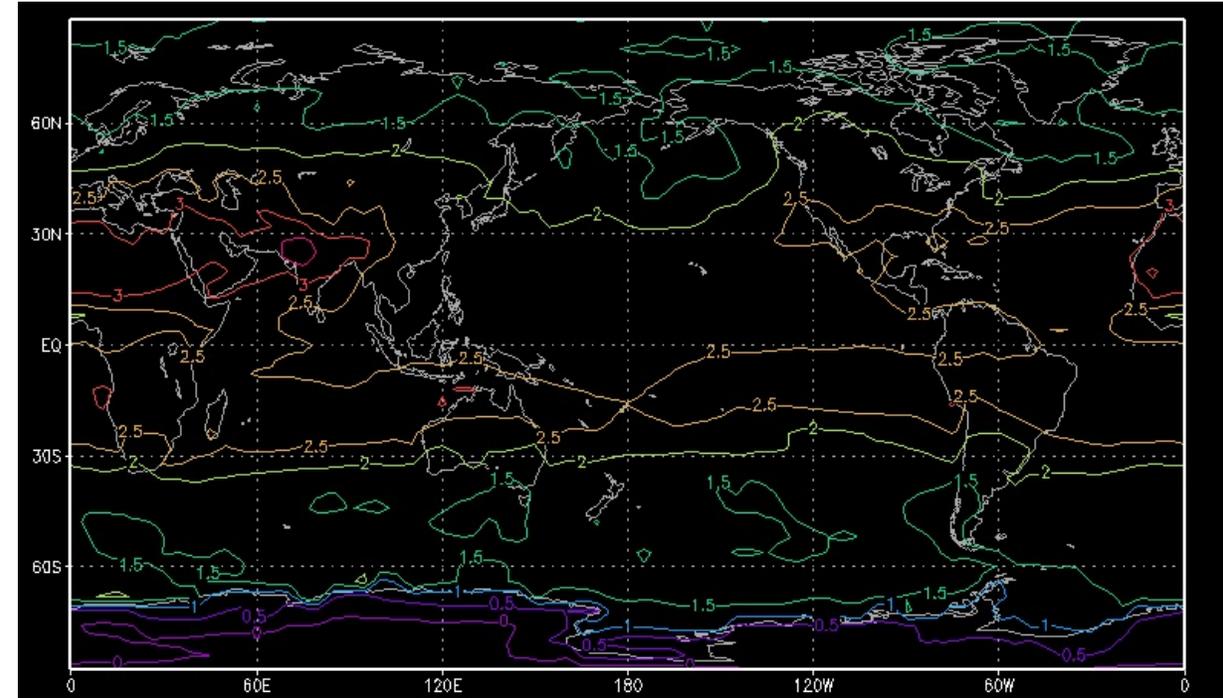


# Длинноволновый радиационный форсинг на верхней границе атмосферы Земли зимой

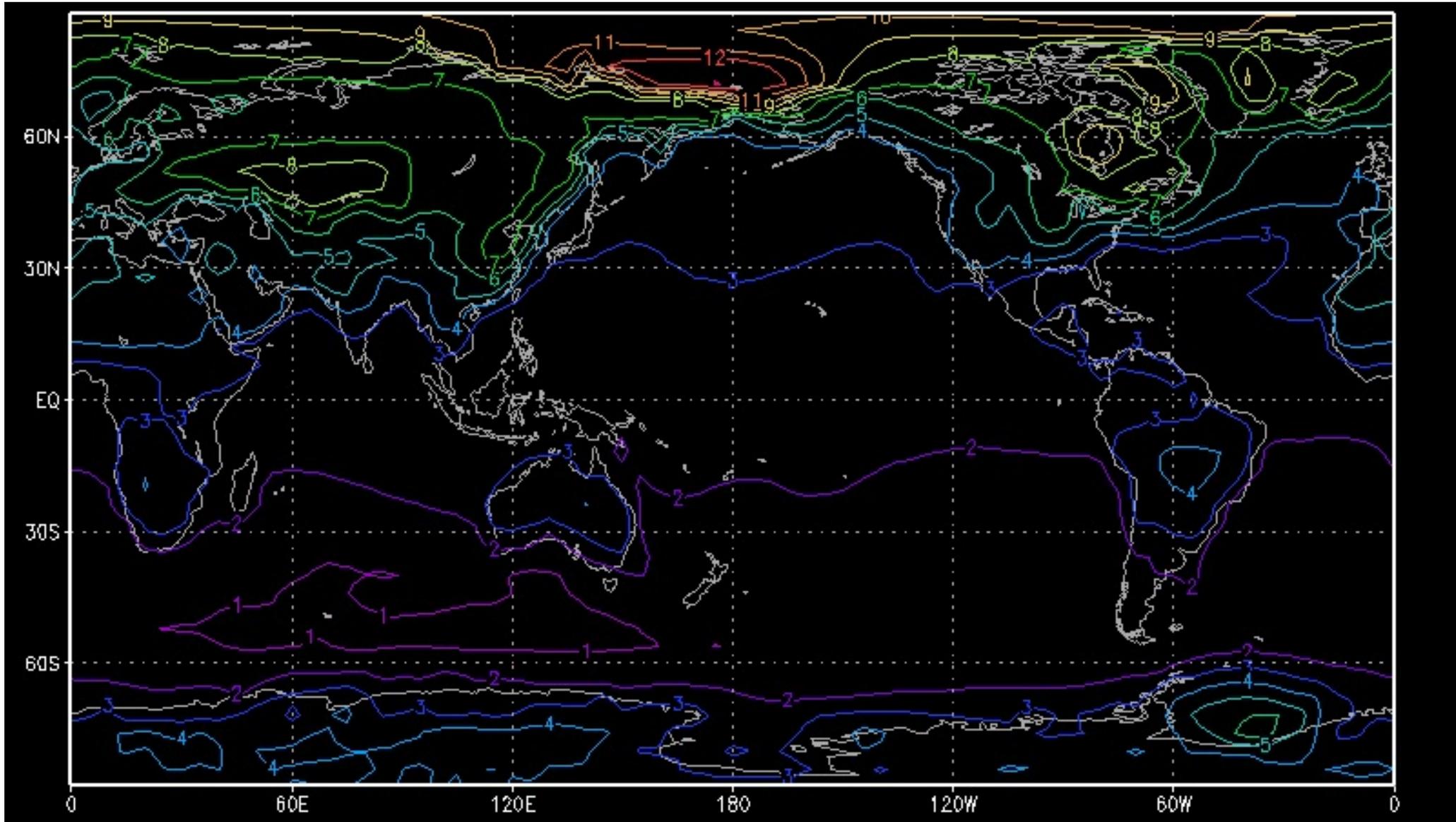
Зима



Лето

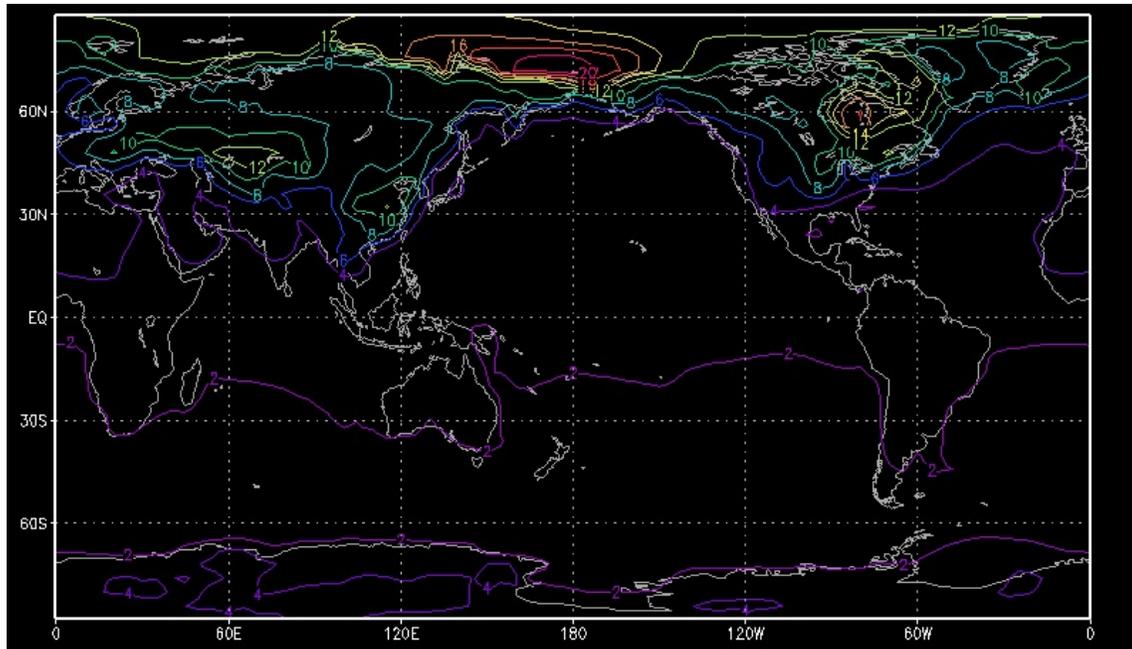


Изменение температуры приземного воздуха при увеличении концентрации  $N_2O$  в 10 раз среднее за год

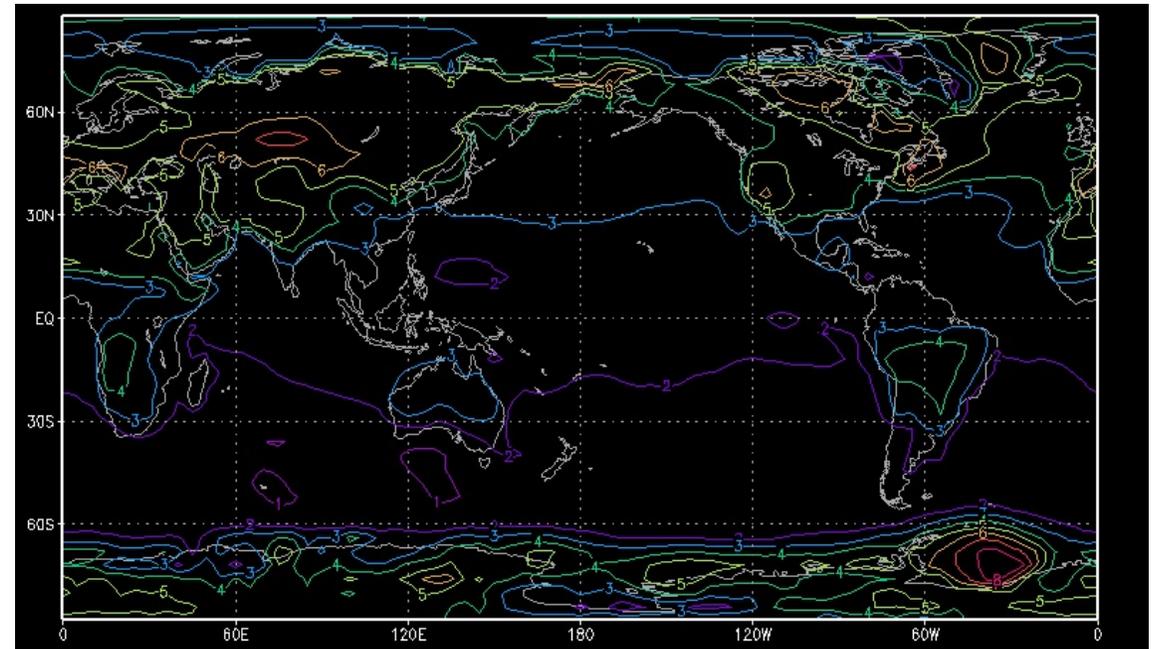


# Изменение температуры приземного воздуха при увеличении концентрации $N_2O$ в 10 раз зимой и летом

Зима

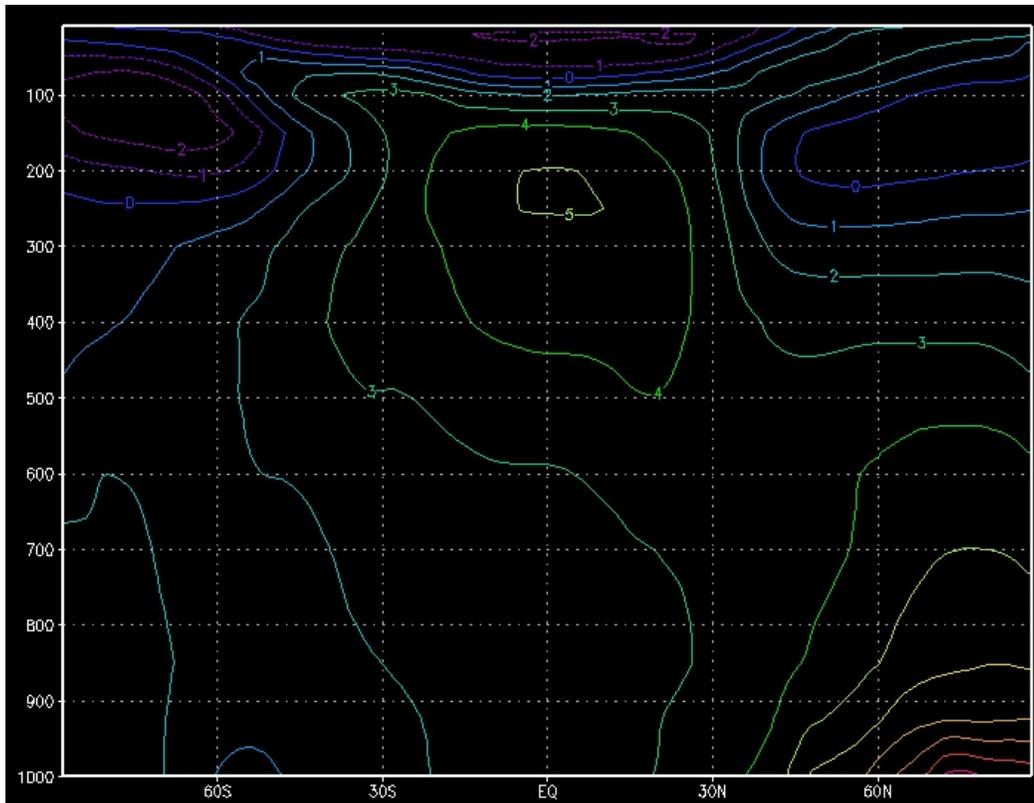


Лето



# Изменение температуры воздуха по высоте при увеличении концентрации $N_2O$ в 10 раз зимой и летом

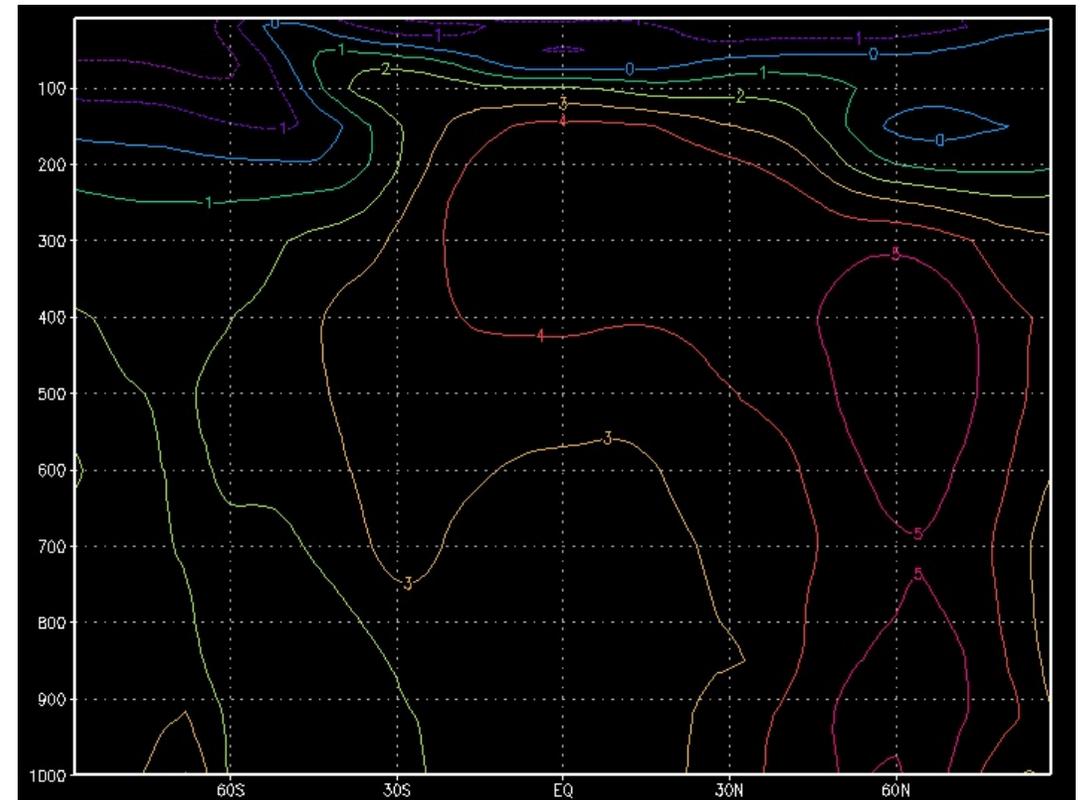
Зима



Южное полушарие

Северное полушарие

Лето



Южное полушарие

Северное полушарие

# Выводы

1. Максимальный длинноволновый радиационный форсинг наблюдается в средних широтах
2. Наибольшее потепление в результате увеличения  $N_2O$  наблюдается зимой в Арктике
3. Максимальное потепление в тропиках наблюдается на высотах 400 – 200 гПа
4. Зависимость между радиационным форсингом от  $N_2O$  и изменением температуры у поверхности обратная.

Спасибо за внимание

## 3. Усвоение данных

# Выводы

1. Источниками выбросов **CO** являются:

- Копенгаген
- Лондон
- Берлин

2. Источниками выбросов **NO** являются:

- Берлин
- Копенгаген

3. Источниками выбросов **SO<sub>2</sub>** являются:

- Лондон
- Берлин
- Копенгаген