

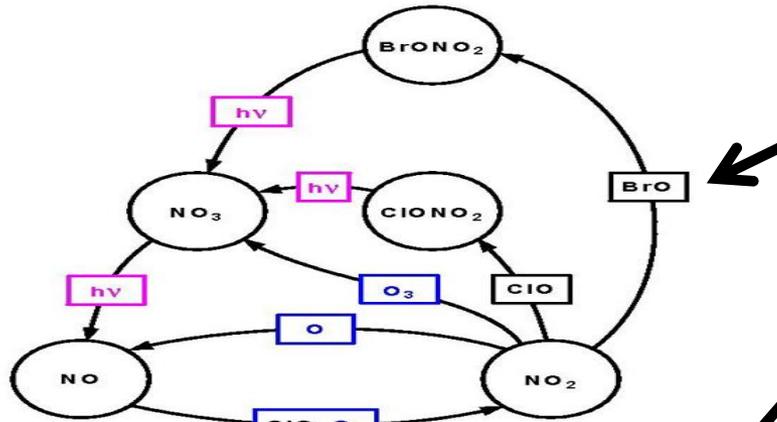


Моделирование глобальных аспектов  
молниевой активности для  
исследования обратных связей с  
изменениями  
климата и газового состава атмосферы

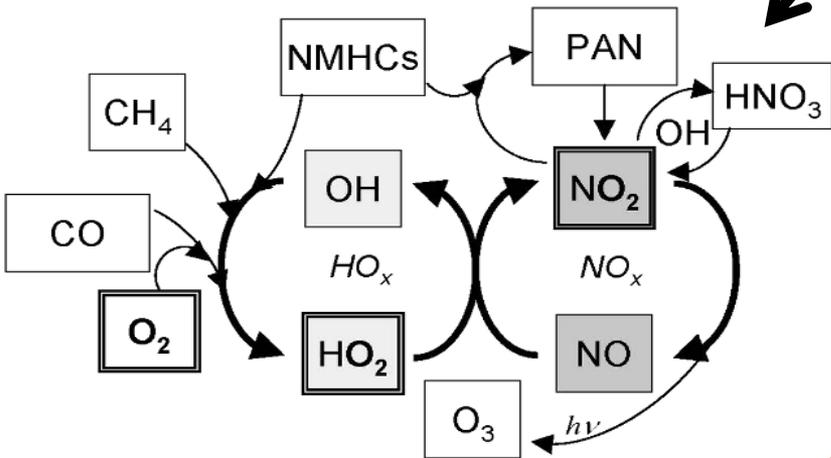
Суходолов Т.В., Смышляев С.П.

Научно-практическая школа-семинар молодых ученых и специалистов в области  
гидрометеорологии  
31 октября – 2 ноября 2012 года  
г. Новосибирск

# Окислы азота



- В стратосфере способствуют разрушению озона
- В тропосфере – образованию!



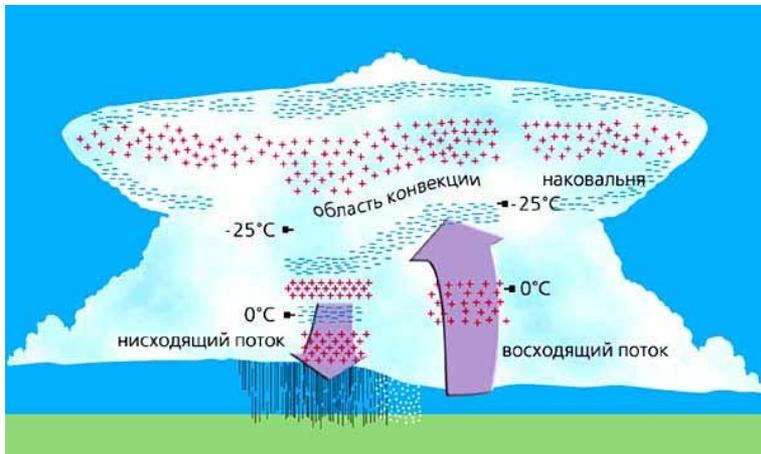
Располагается в средней и верхней тропосфере, где время жизни  $\text{NO}_x$  выше, чем на более низких уровнях

Источник	Выбросы TgN/год	Неопределенность TgN/год
Сжигание топлива	22	13–31
Сжигание биомассы	7.9	3–15
Процессы в почве	7.0	4–12
<b>Грозы</b>	5.0	1–100
Стратосферное окисление закиси азота $\text{N}_2\text{O}$	0.64	0.4–1
Окисление аммиака	0.9	0.6
Самолетные выбросы	0.56	–

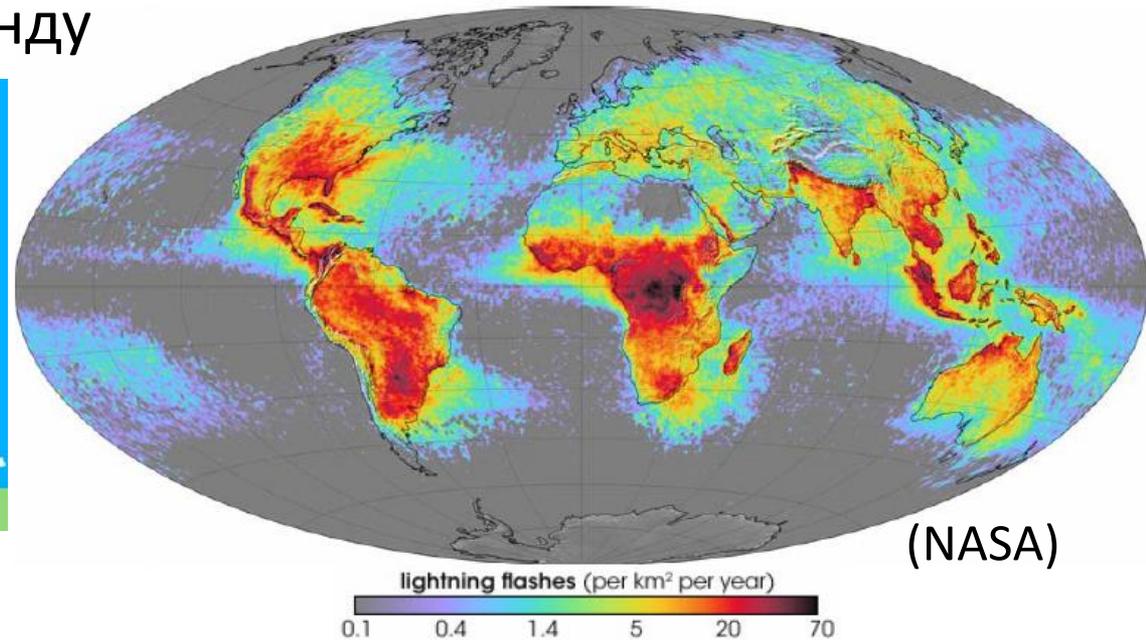
(IPCC 2001)

# Генерация $\text{NO}_x$ молниями

- В разогретом до 30000 К канале молнии молекулы  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$  диссоциируют с последующим объединением в  $\text{NO}$
- $44 \pm 5$  вспышек в секунду



Stolzenburg et al. (1998)



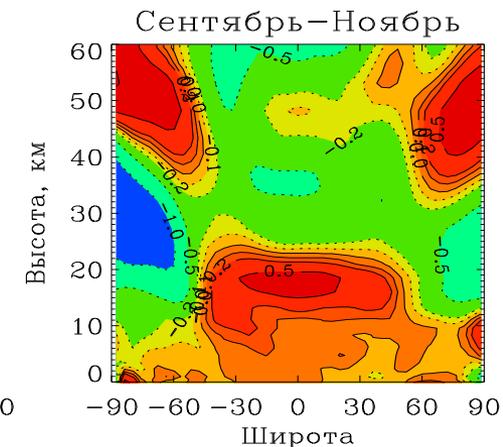
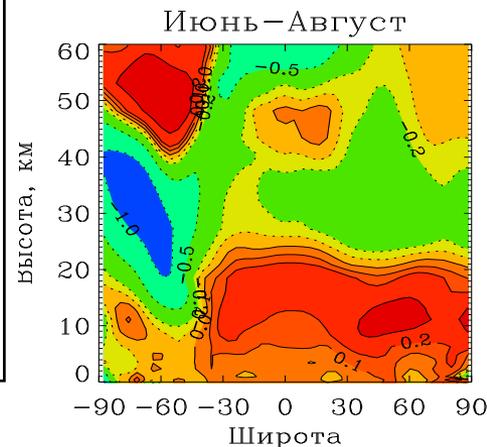
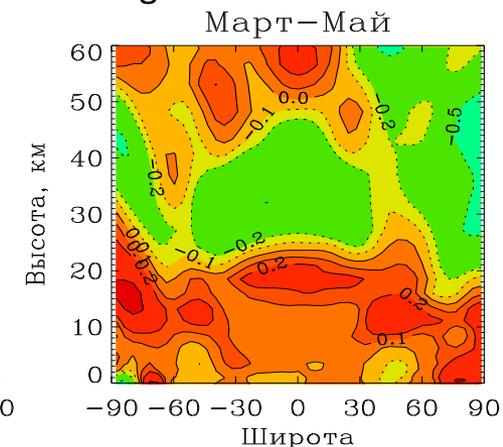
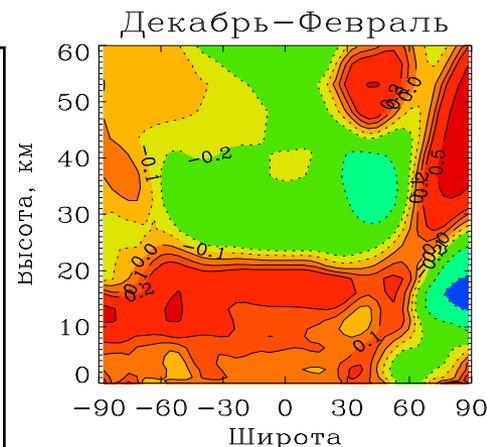
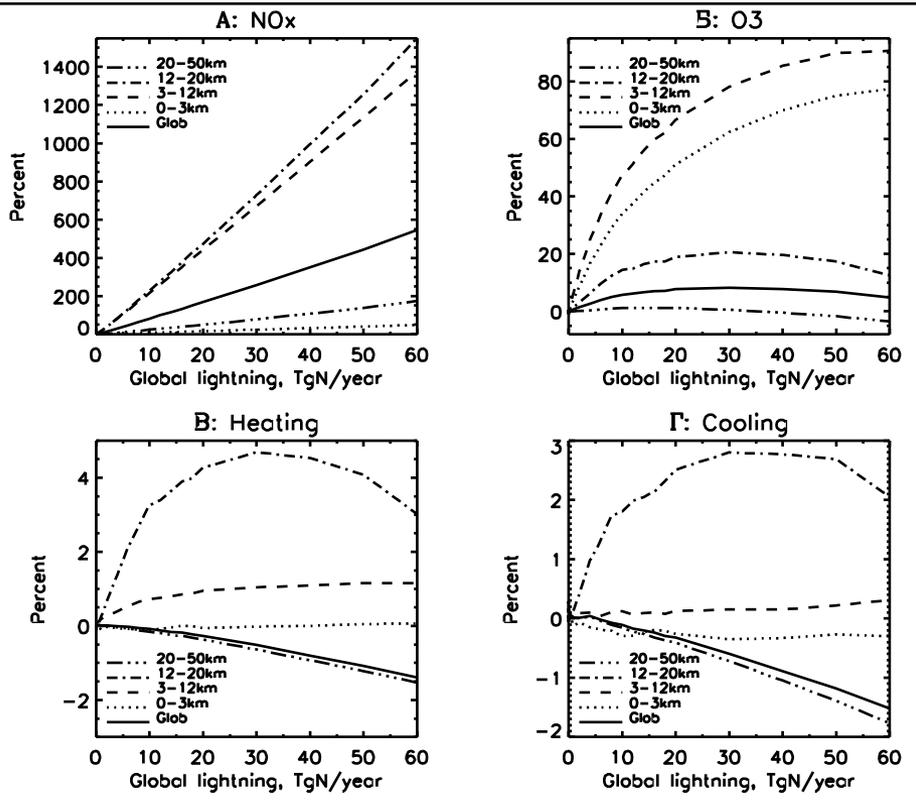
Schumann & Huntrieser (2007)

- «Типичная» грозовая вспышка производит  $15(2-40) \times 10^{25}$  молекул  $\text{NO}$
- Оценка глобального источника:  $5 \pm 3 \text{ Tg(N)/год}$

# Предварительные оценки

Климатологические данные Price et al. (1997).

- $P_{cg} = 10P_{ic}$



Высокая чувствительность содержания O<sub>3</sub> и OH к количеству образующегося LNO<sub>x</sub> на разных высотах атмосферы

Смышляев и др. (2010)

# Обратные связи



**Грозовые разряды необходимо параметризовать через переменные конвективной схемы!**

# Задачи исследования

- Исследовать роль неопределенности в оценках молниевых окислов азота, связанную с горизонтальным и вертикальным распределением
- Исследовать обратные связи между грозовой деятельностью и изменением газового состава и температурного режима атмосферы.

# Метод решения задачи

- **Численное моделирование**

- **Модель химии, динамики и радиации (74 газа, 174 реакции, 51 процесс фотодиссоциации) РГГМУ,**

**интерактивно взаимодействующая с**

- **трехмерной моделью общей циркуляции нижней и средней атмосферы института вычислительной математики РАН ( $5 \times 4^\circ$ , 39  $\sigma$ -уровней (до 90 км), шаг по времени 1 час)**

# Доступные методы

Параметризация  
горизонтального  
распределения молний

- **Высота верхней границы конвективного облака** (Price & Rind (1992), Futyan & Del Genio (2007))
- **Конвективные осадки** (Allen & Pickering (2002))

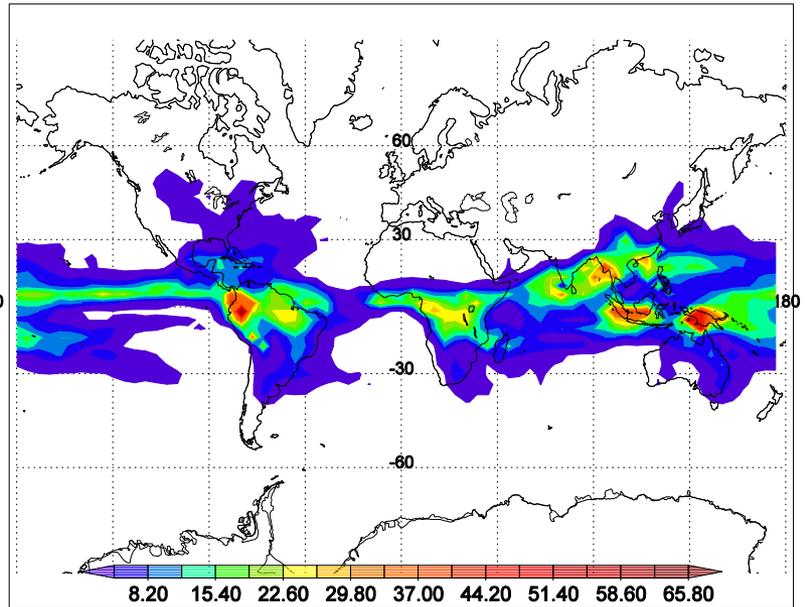
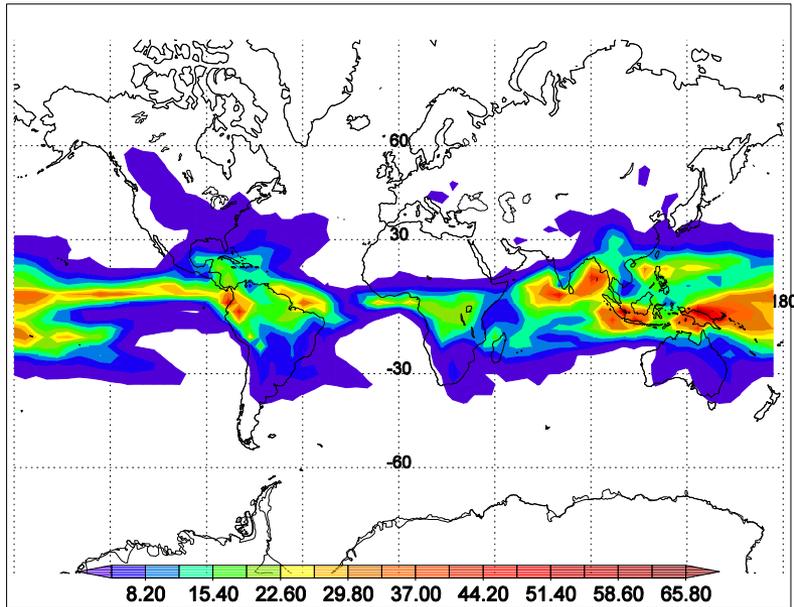
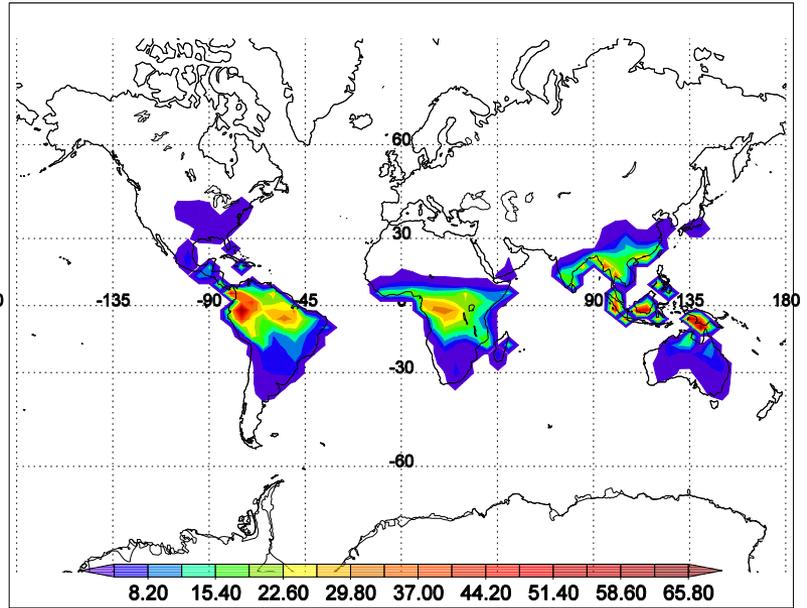
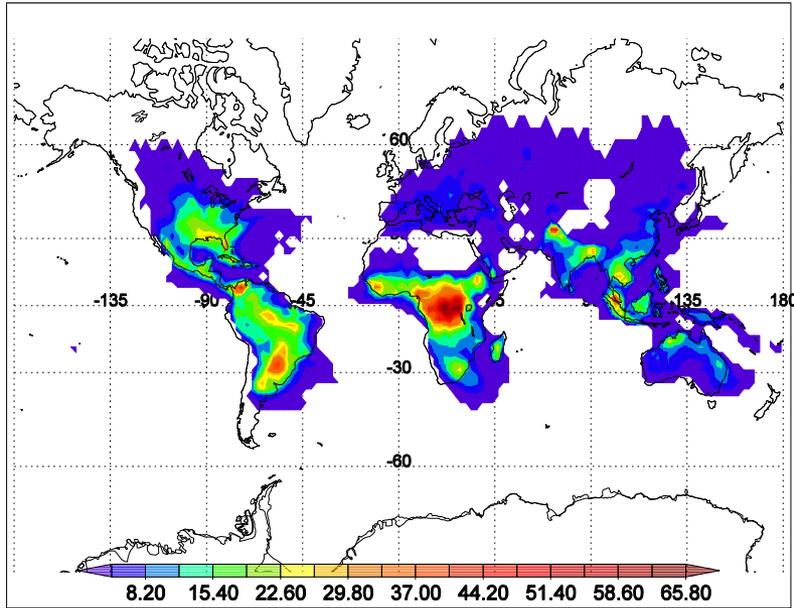
Определение выброса  $\text{NO}_x$   
за вспышку для IC и CG  
молний

- $15(2-40) \times 10^{25}$  молекул NO за вспышку, среднеширотные молнии в 2-4 раза продуктивнее экваториальных (Schumann & Huntrieser (2007))
- $P_{ic} \sim P_{cg}$  (Schumann & Huntrieser (2007), Ott et al. (2010))

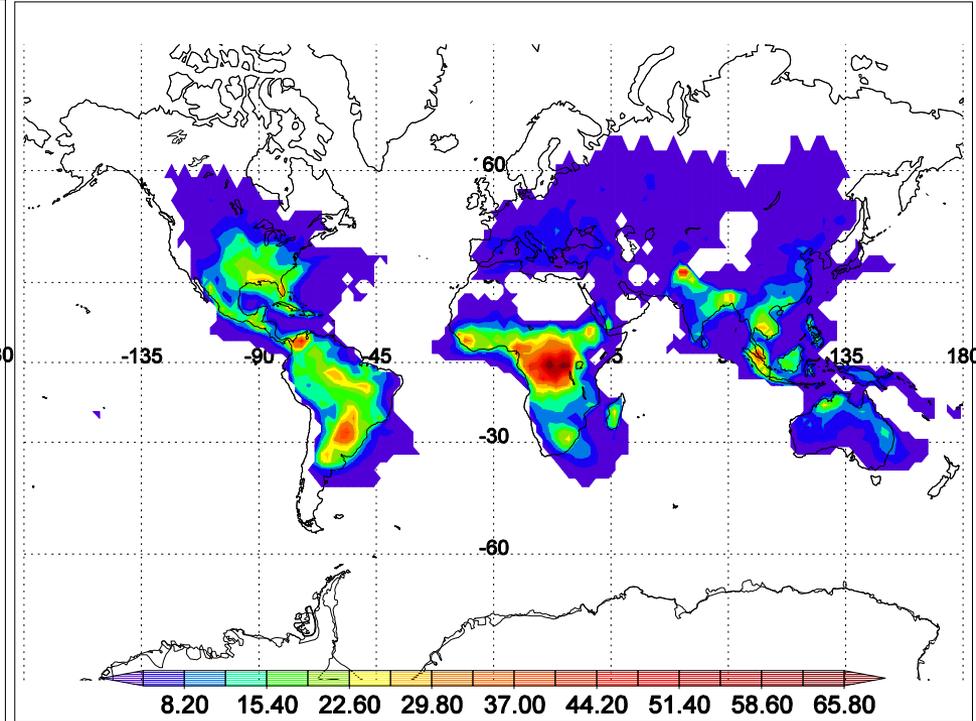
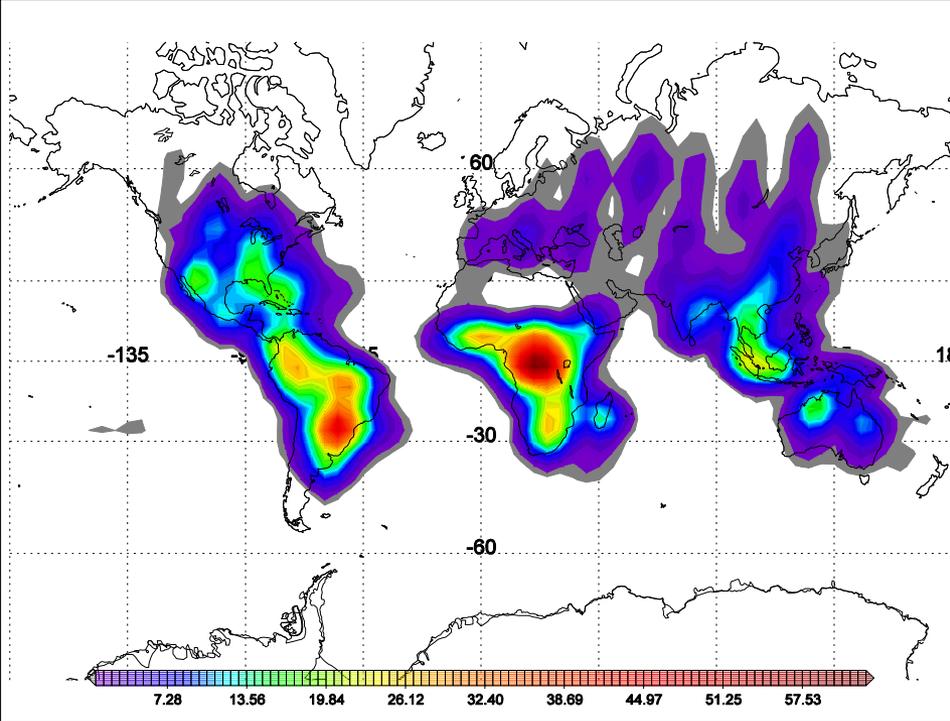
Вертикальное  
распределение

- С-образные профили (Pickering et al. (1998))
- Профили обратные С-образным (Ott et al. (2010))

# Тестирование параметризаций



# Корректировка для соответствия оценкам NASA



$F'_{mod}$



3 мес. скользящее  
среднее



$k = F_{sat} / F'_{mod} \quad F'_{mod} > 0$   
 $k = F_{sat} \quad F'_{mod} = 0$



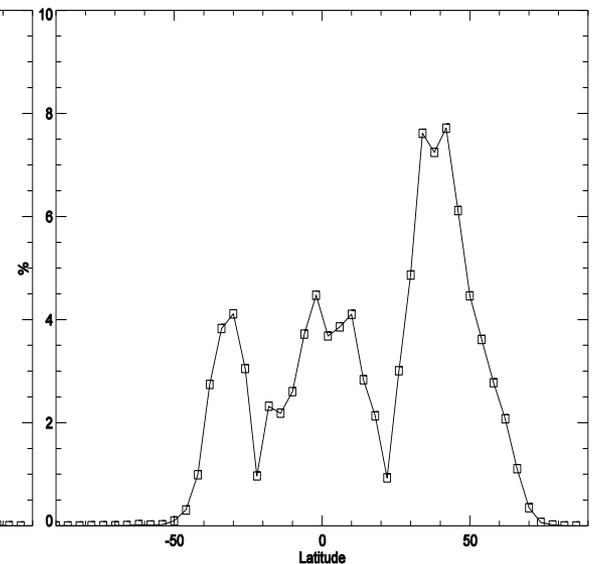
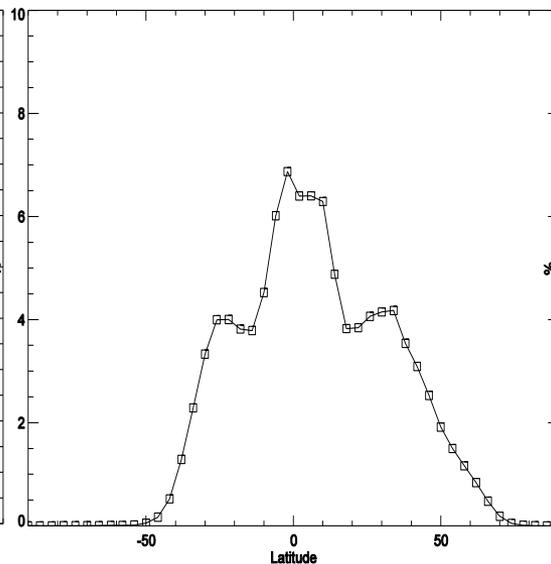
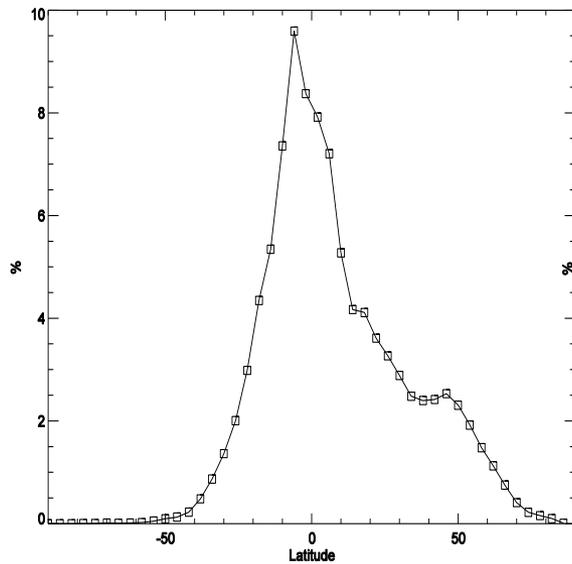
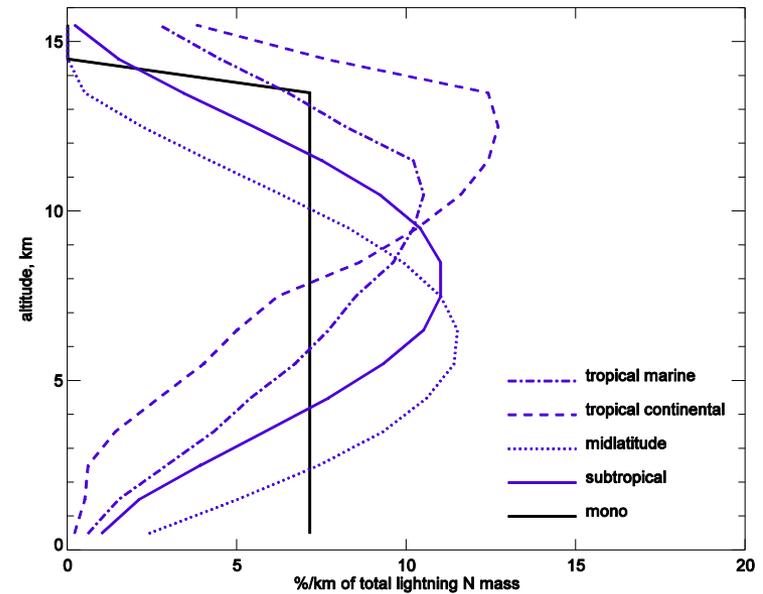
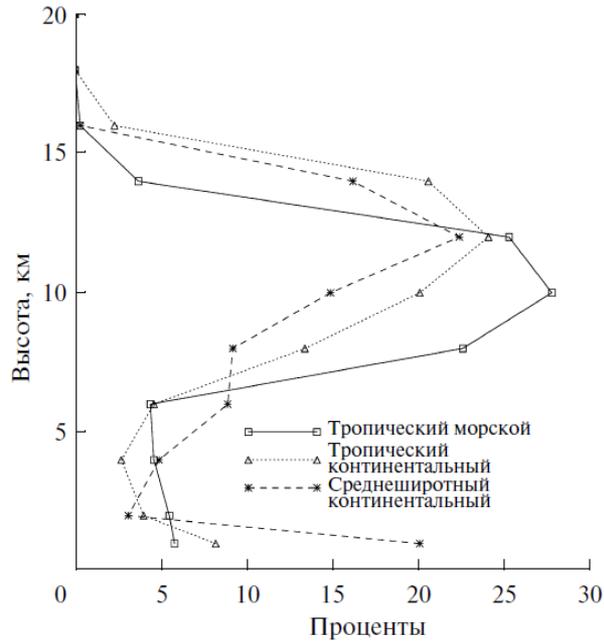
$F_{mod}$



Пространственный  
фильтр

$F_{mod} = F_{mod} * k$

# Пространственное распределение $\text{LNO}_x$

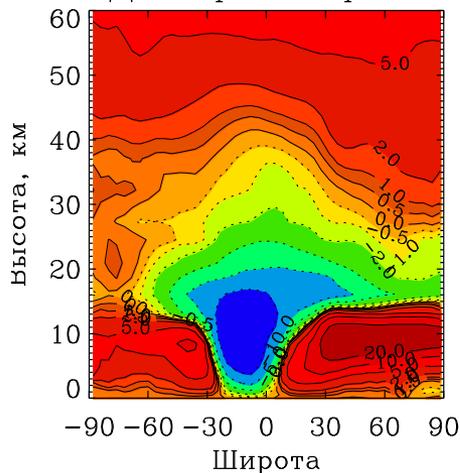


# Результаты моделирования с фиксированным распределением $\text{LNO}_x$

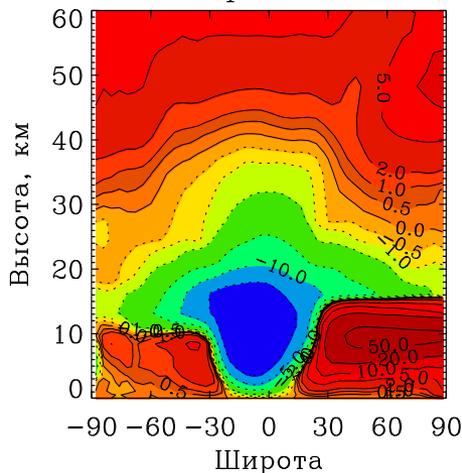
## $\text{NO}_x$

## $\text{O}_3$

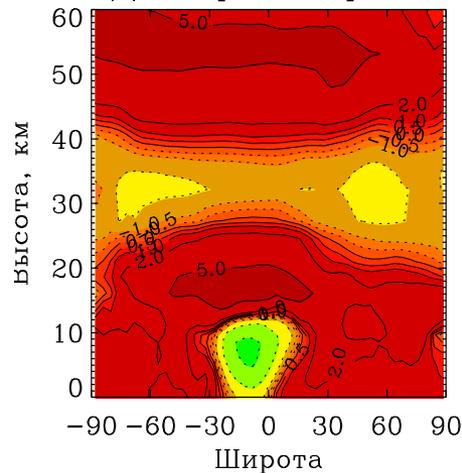
Декабрь-Февраль



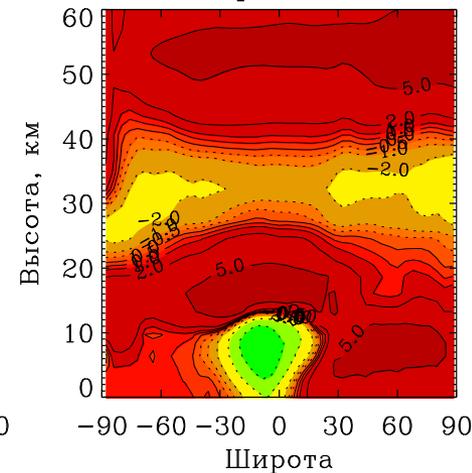
Март-Май



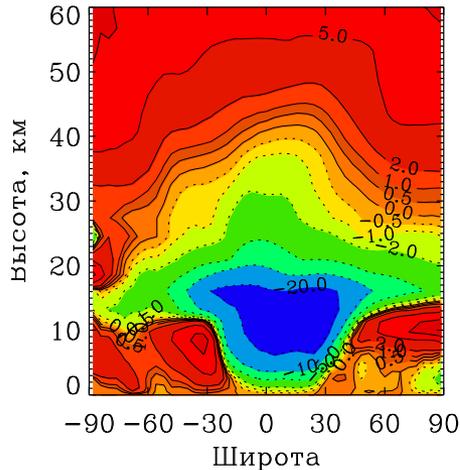
Декабрь-Февраль



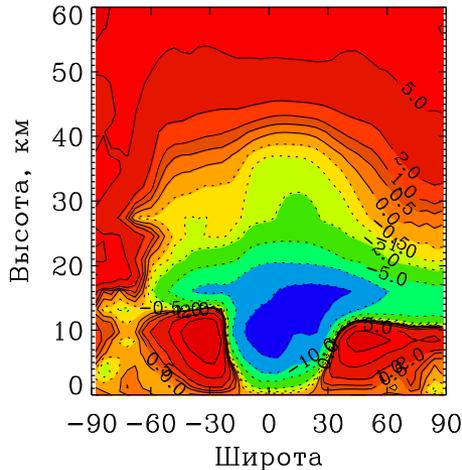
Март-Май



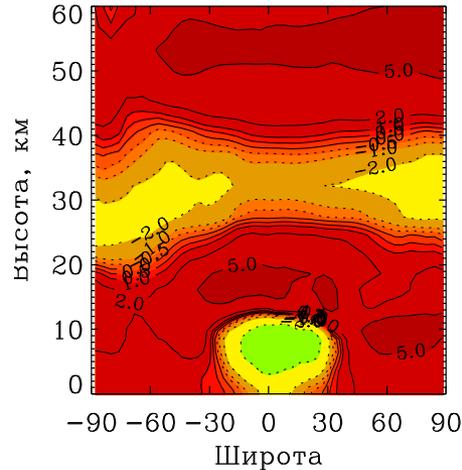
Июнь-Август



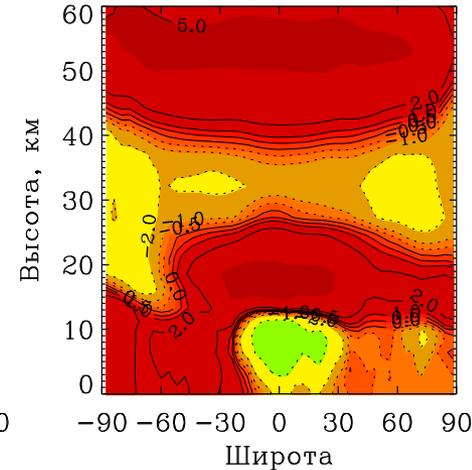
Сентябрь-Ноябрь



Июнь-Август



Сентябрь-Ноябрь

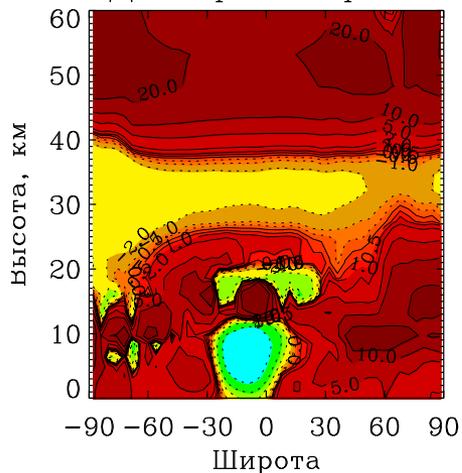


# Результаты моделирования с фиксированным распределением $\text{LNO}_x$

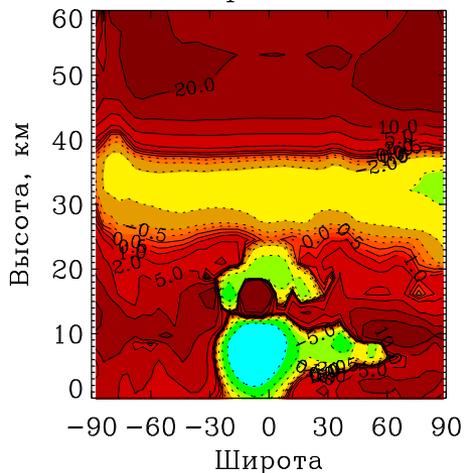
## $\text{ClONO}_2$

## $\text{HNO}_3$

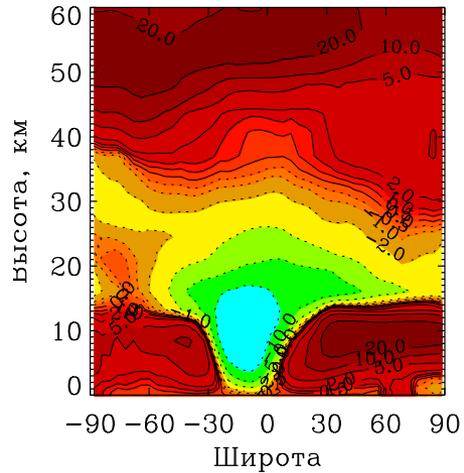
Декабрь-Февраль



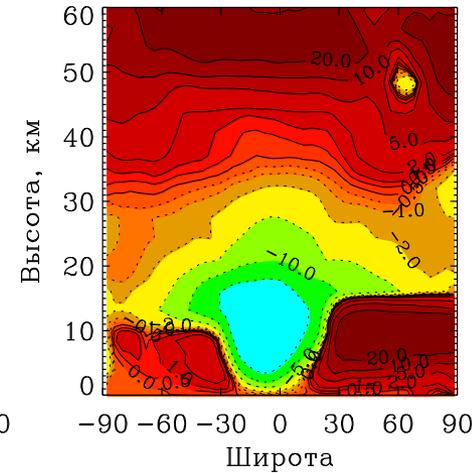
Март-Май



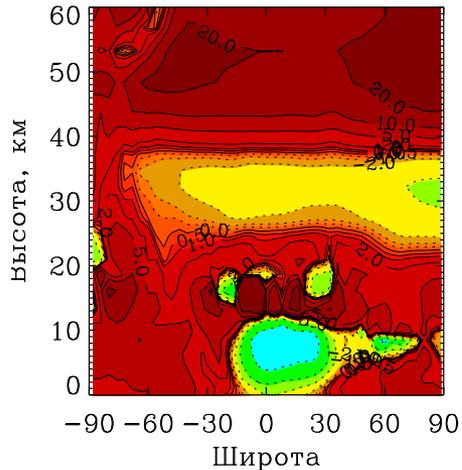
Декабрь-Февраль



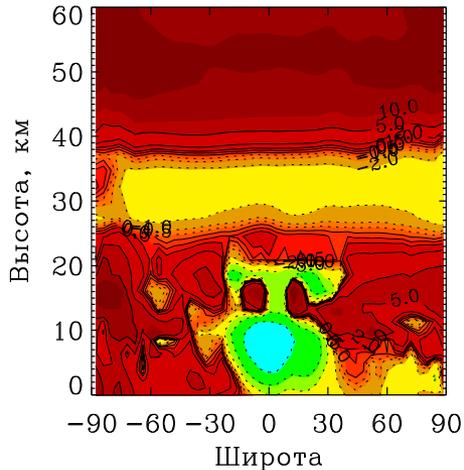
Март-Май



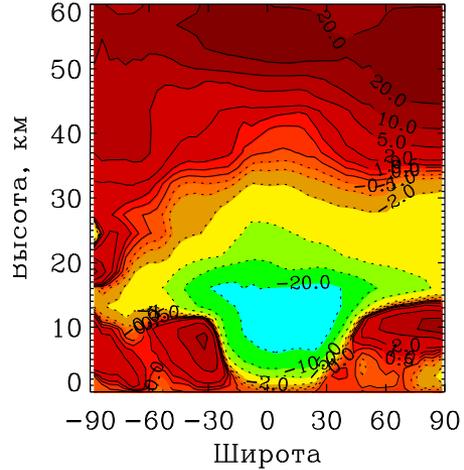
Июнь-Август



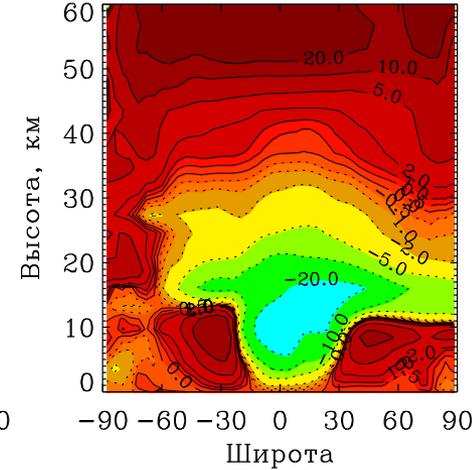
Сентябрь-Ноябрь



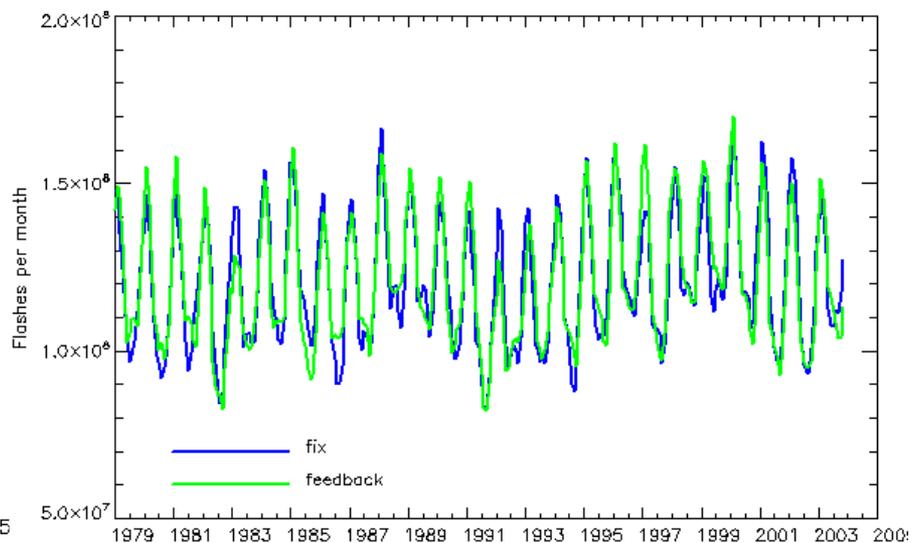
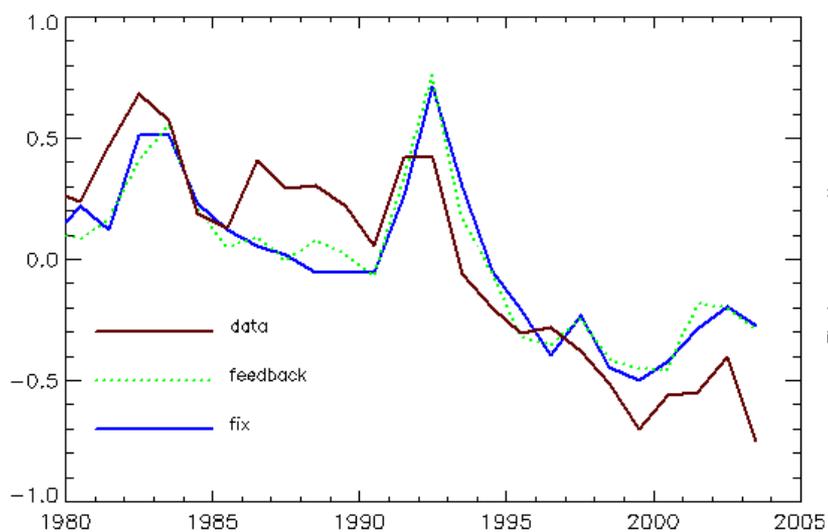
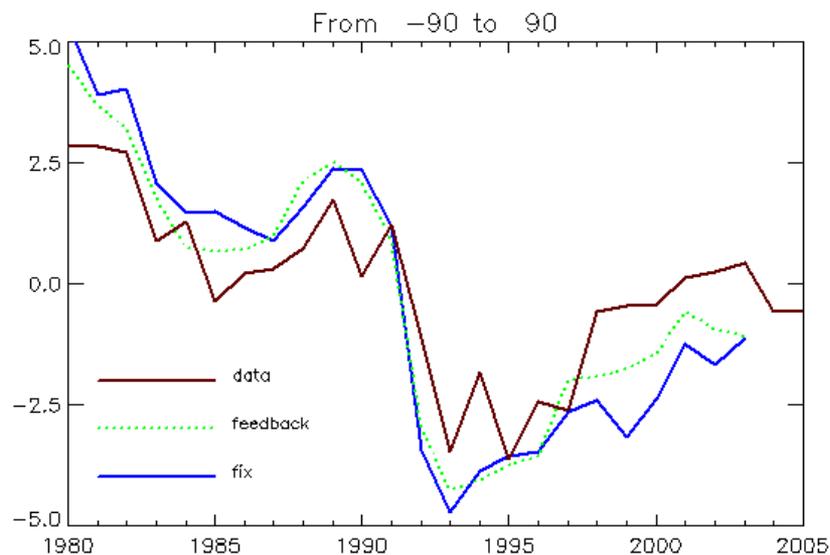
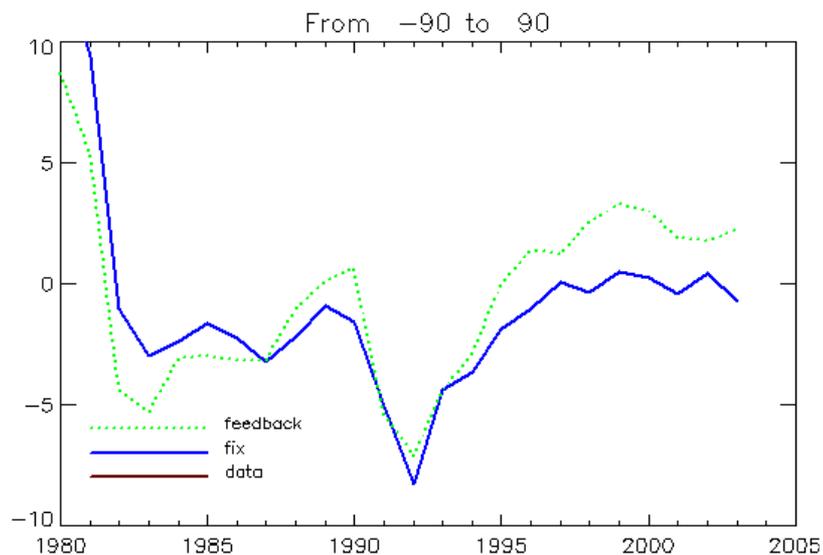
Июнь-Август



Сентябрь-Ноябрь

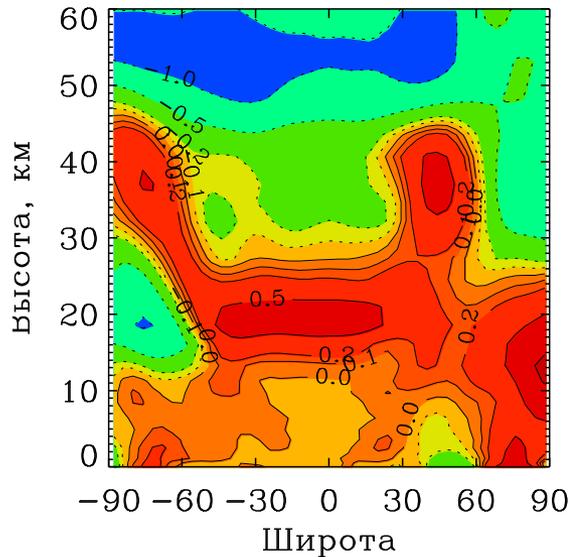


# Временная изменчивость при включении обратной связи

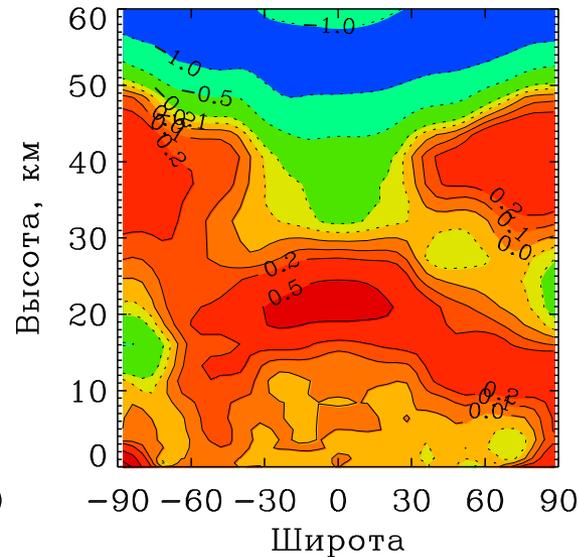


# Изменение температуры при включении обратной связи

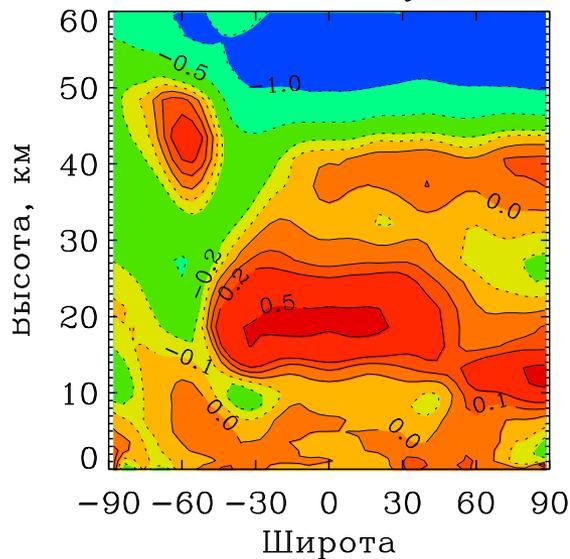
Декабрь-Февраль



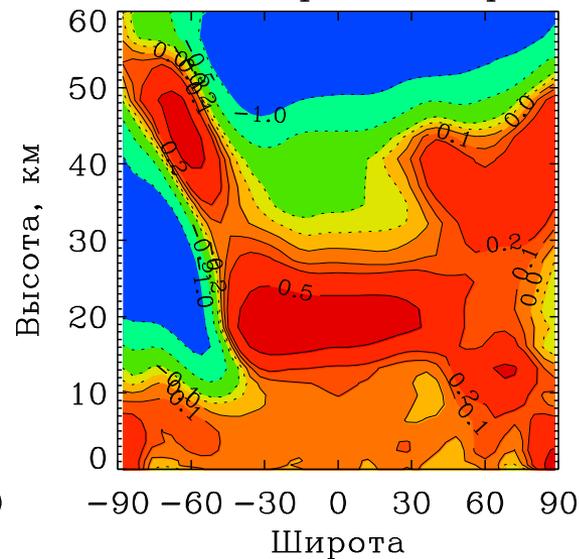
Март-Май



Июнь-Август



Сентябрь-Ноябрь



# Заключение

- Обратная связь между реакцией атмосферы на изменение молниевой активности и самой молниевой активностью может приводить к изменению временного хода содержания озона на величины, сопоставимые с другими важнейшими факторами, определяющими газовый состав средней атмосферы.
- Учет обратной связи позволяет лучше описывать изменение содержания озона относительно данных измерений.
- Влияние на температуру компенсируется в межгодовой изменчивости, но имеет заметные локальные эффекты

**Спасибо за внимание!**