

*ENVIROMIS-2010, 5-11 July, Tomsk, Russia*

# **Research of sensitivity of surface climate of Northern Eurasia to interaction of troposphere and a stratosphere**

---

**Исследование чувствительности климата поверхности Северной Евразии к взаимодействию тропосферы и стратосферы**

**Martynova Yu. Krupchatnikov V.,**

**(Siberian research hydrometeorological institute / ICMMG SB RAS, Novosibirsk  
<http://sibnigmi.ru>)**

Enviromis-2010, Jule 5-11

## Цель

- Работа посвящена исследованию влияния аномалии снежного покрова осенью на территории Сибири на приземную температуру в зимние месяцы с помощью модели климатической системы промежуточной сложности.
- Обсуждаются возможные механизмы влияния аномалии термического форсинга на поверхности, связанные с взаимодействием тропосферы и стратосферы, на температурный режим поверхности в зимний период.

Работа выполнена при поддержке  
Российского Фонда Фундаментальных Исследований  
№ 08-05-00457.

# Содержание

- **Методология**
- **Описание экспериментов**
- **Анализ результатов моделирования.**

## Введение.

Влияние снежного покрова на погодные условия и климат поверхности давно является предметом исследований, и особенно интенсивно изучается в последнее время .

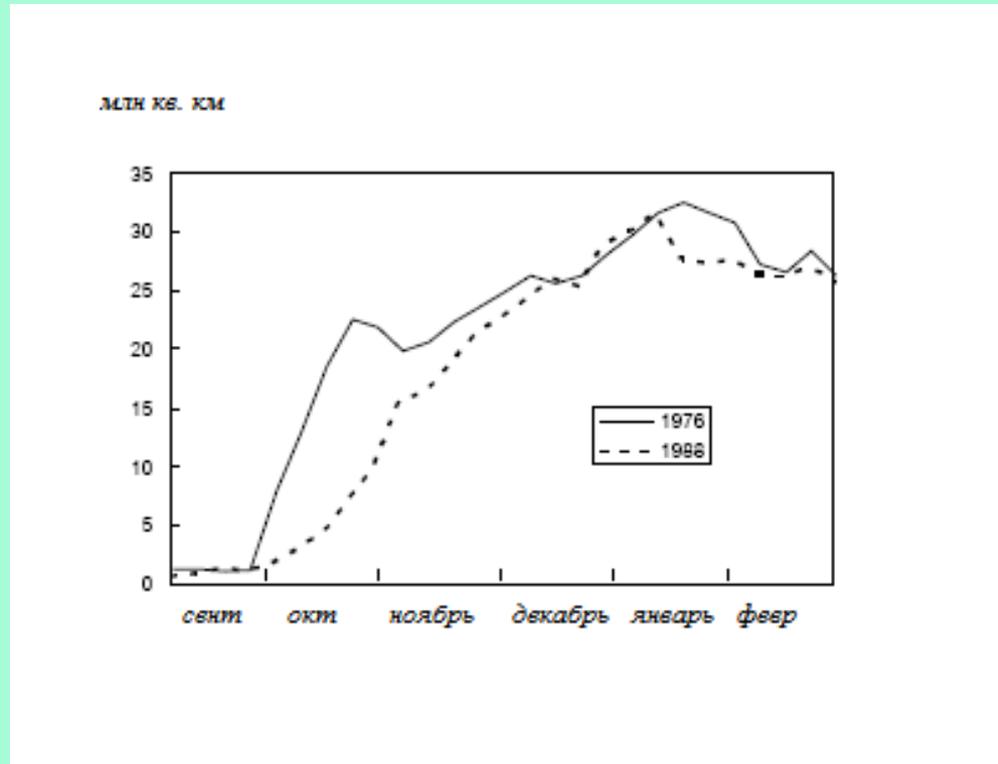
- Влияние снежного покрова обусловлено уменьшением поглощенной солнечной радиации из-за увеличения альбедо,
- Существуют и другие термодинамические механизмы, формирующие тепловой баланс на поверхности: увеличение эмиссивности, уменьшение теплопроводности и т.д

Большой интерес представляет проблема нелокального (по пространству и времени) влияния источников на поверхности (термические или орографические) на циркуляцию атмосферы.

В работе Г.И. Марчука (1974) впервые была осуществлена математическая постановка этой проблемы и, в рамках простой термодинамической модели атмосферы, было дано ее решение на основе сопряженных функций (функций влияния). Эта работа стимулировала появления большого числа работ и формирование нового взгляда на динамику атмосферы.

Следует отметить, что территории, прилегающие к областям, где наблюдаются снежные аномалии, составляют почти половину общей поверхности земли, находящуюся во внетропических широтах Северного полушария.

Для данных территорий площадь и глубина снежного покрова имеют наибольшую изменчивость во времени и пространстве в течение октября . Это также подтверждается данными спутниковых наблюдений NOAA как это показано на рисунке 1:



Проблема, которая сейчас привлекает внимание исследователей:

в какой степени динамика стратосферы оказывает влияние на климат поверхности и его изменчивость, и в какой степени стратосфера контролирует реакцию тропосферы к вариации термического форсинга на поверхности?

Решение этой проблемы может иметь практическое применение в сезонных прогнозах.

## Методология

Динамическое взаимодействие между стратосферой и тропосферой осуществляется в основном через планетарные волны Россби, которые распространяются вверх из тропосферы в западном потоке.

Эти волны распространяются и взаимодействуют с западным зональным потоком, когда западный поток не превышает некоторого критического значения.

В Северном Полушарии эти условия встречаются в течение зимнего сезона, в этот период на стратосферный полярный вихрь накладываются возмущения в виде тропосферных планетарных волн, которые переносят западный угловой момент вверх.

Полярный вихрь, в свою очередь, оказывает влияние на направление потока волновой активности: сильный полярный вихрь экранирует волновой поток, направляя значительную его часть в сторону экватора; слабый вихрь более чувствителен к их влиянию.

Благодаря обратной связи, вызванной вертикальным потоком волновой активности, последующие планетарные волны могут достигать более низких высот, вследствие изменения зонального потока

Взаимодействие между зональным потоком и распространяющимися вверх планетарными волнами в стратосфере, приводит к распространению вниз фазы возмущений среднего зонального потока.

Это означает, что в стратосфере меняются динамические условия таким образом, что аномалии среднего потока распространяются вниз и могут оказывать влияние на циркуляцию в тропосфере.

В последнее время такие исследования были выполнены как на основе данных наблюдений, так и на основе моделирования в контексте Арктических Колебаний (АК). В этих работах установлена связь между стратосферным полярным вихрем и тропосферной модой АК.

## Описание экспериментов

В данной работе, для оценки чувствительности поля температуры в нижней тропосфере к аномалиям снежного покрова, использовалась модель климатической системы промежуточной сложности.

Модель имеет горизонтальное разрешение 5.6 x 5.6 и 25 уровней по вертикали, равномерно распределенных в атмосфере с верхней границей на 10hPa, при этом 8 уровней лежат выше 300hPa и 4 уровня выше 100hPa.

Для решения этой задачи было выполнено численное моделирование двух «аномальных» ансамблей (минимум – ансамбль и максимум – ансамбль) циркуляции атмосферы на 5 месяцев, начиная с октября.

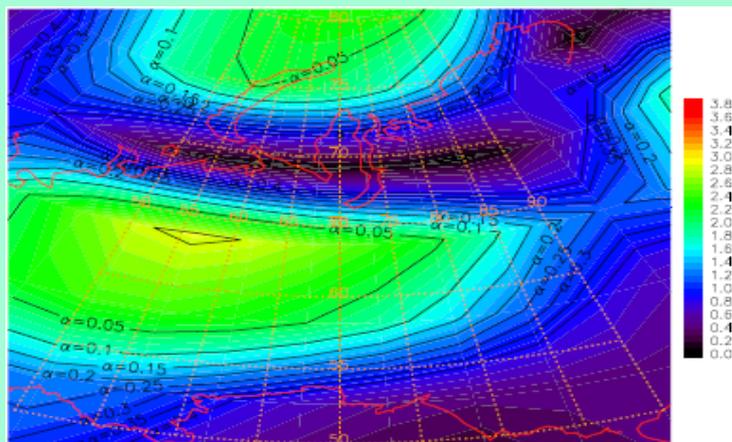
В контрольном эксперименте для каждого из ансамблей, использовалось среднее значение величины снежного покрова.

## Анализ результатов моделирования.

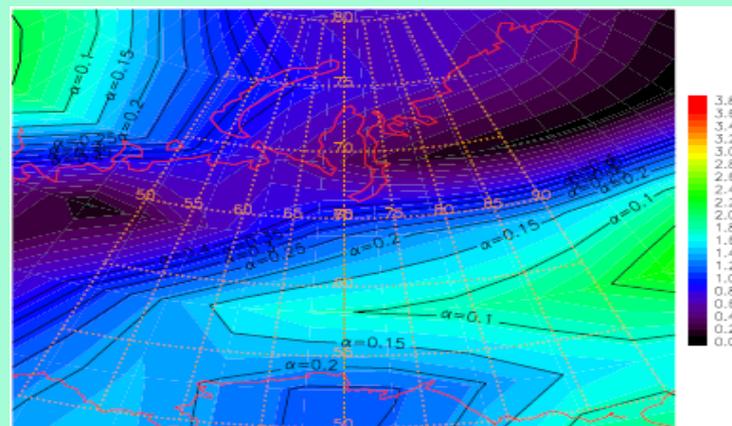
*Таблица 1. Среднемесячные значения приземной температуры, осредненные по территории Сибири для экстремально малой (глубина 0.0299 м, площадь 57 % территории Сибири) и экстремально большой (глубина 0.0339 м, площадь 80 % территории Сибири) величины снежного покрова в октябре.*

<b>Месяц</b>	<b>Температура, К (min)</b>	<b>Температура, К (max)</b>	<b>Разность температуры, К (max-min)</b>
Декабрь	253.57	257.77	4.2
Январь	262.43	263.21	0.78
Февраль	261.18	260.38	-0.8

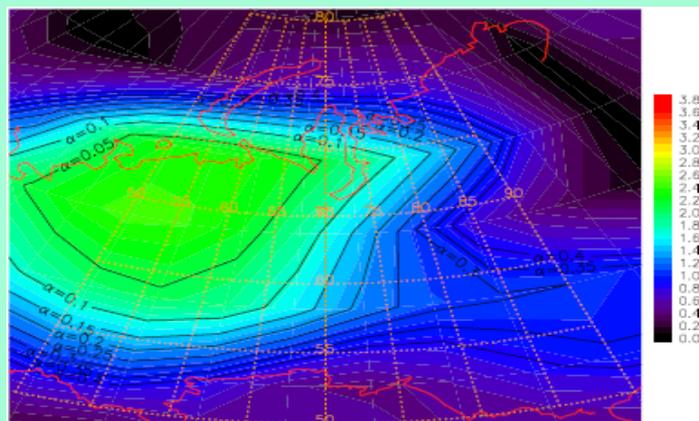
## Анализ результатов моделирования.



Эмпирическое значение t-статистики Стьюдента, «максимум-ансамбль», декабрь;

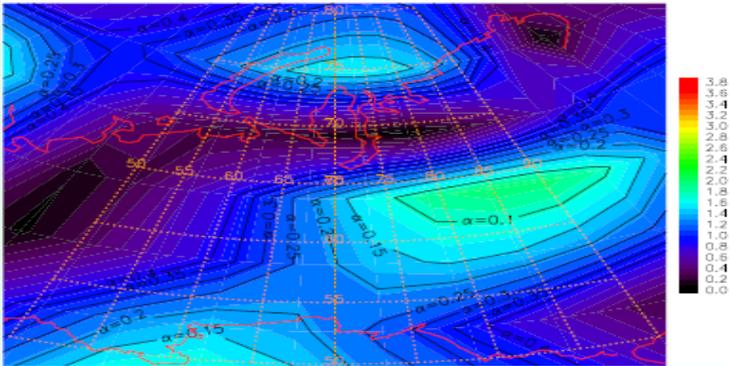


Эмпирическое значение t-статистики Стьюдента, «максимум-ансамбль», январь;

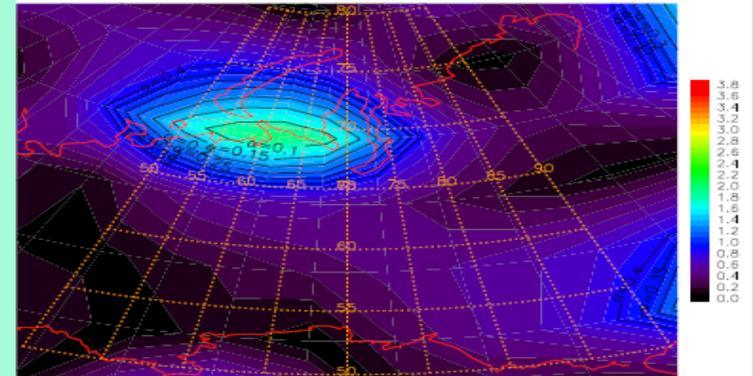


Эмпирическое значение t-статистики Стьюдента, «максимум-ансамбль», февраль

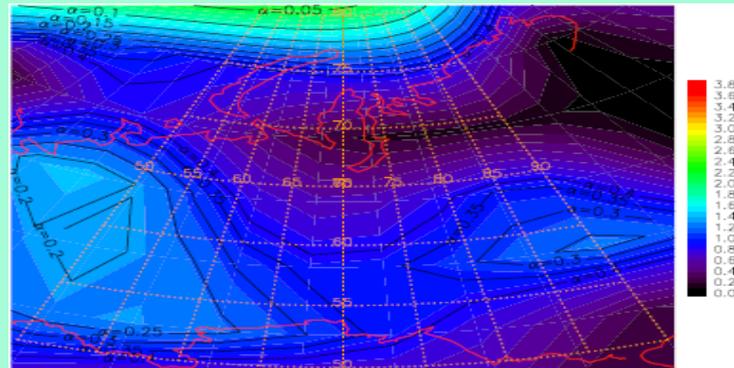
## Анализ результатов моделирования.



Эмпирическое значение t-статистики  
Стьюдента, «минимум-ансамбль», декабрь

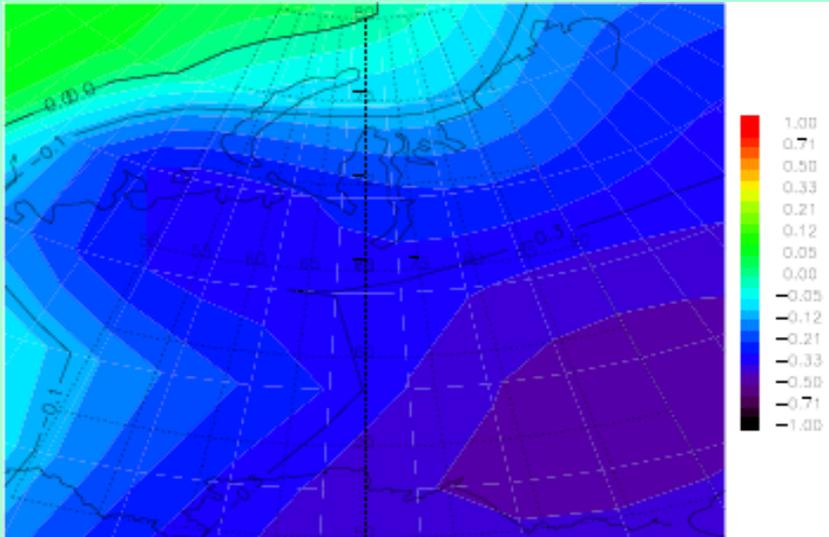


Эмпирическое значение t-статистики  
Стьюдента, «минимум-ансамбль», январь;

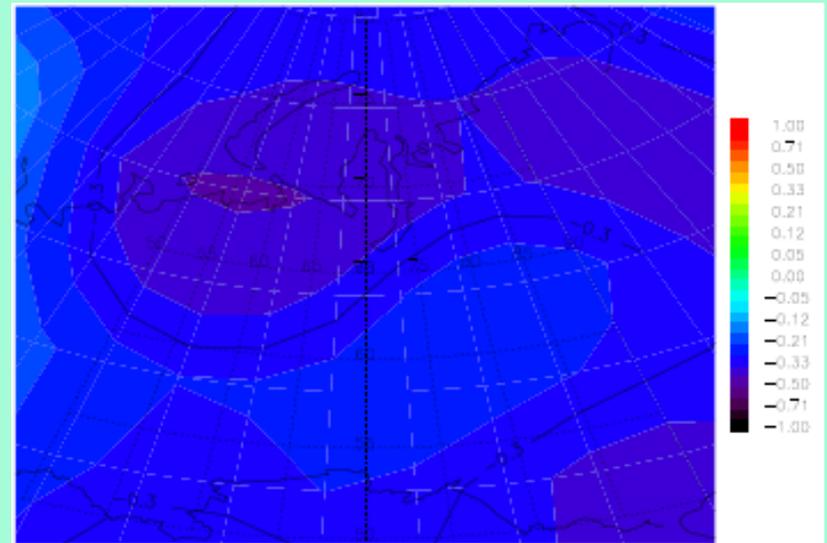


Эмпирическое значение t-статистики Стьюдента,  
«минимум-ансамбль», февраль

## Анализ результатов моделирования.

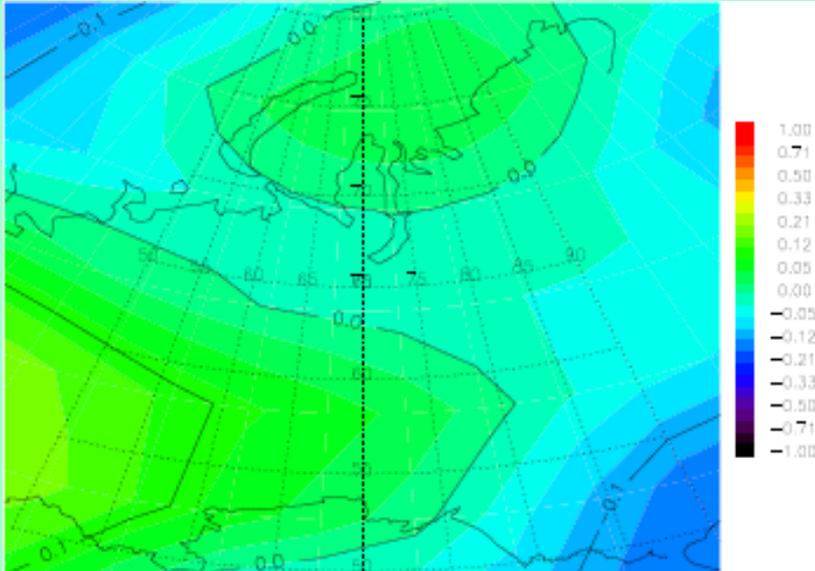


Значение коэффициента корреляции между глубиной снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в декабре, «максимум-ансамбль»

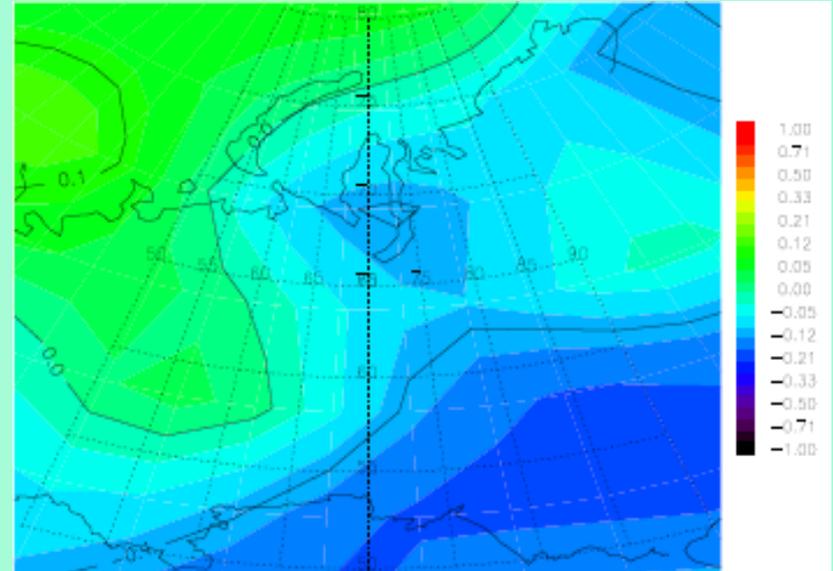


Значение коэффициента корреляции между глубиной снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в декабре, «минимум-ансамбль»

## Анализ результатов моделирования.

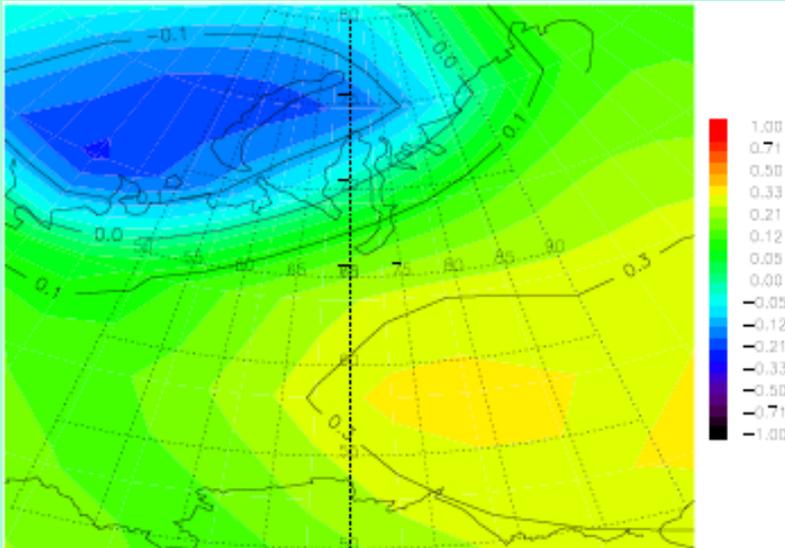


Значение коэффициента корреляции между глубиной снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в январе, «максимум-ансамбль»

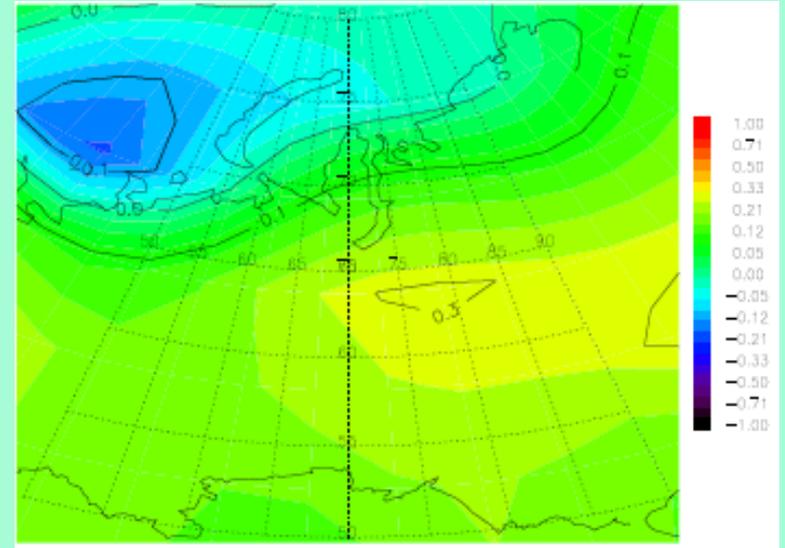


Значение коэффициента корреляции между глубиной снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в январе, «минимум-ансамбль»

## Анализ результатов моделирования.

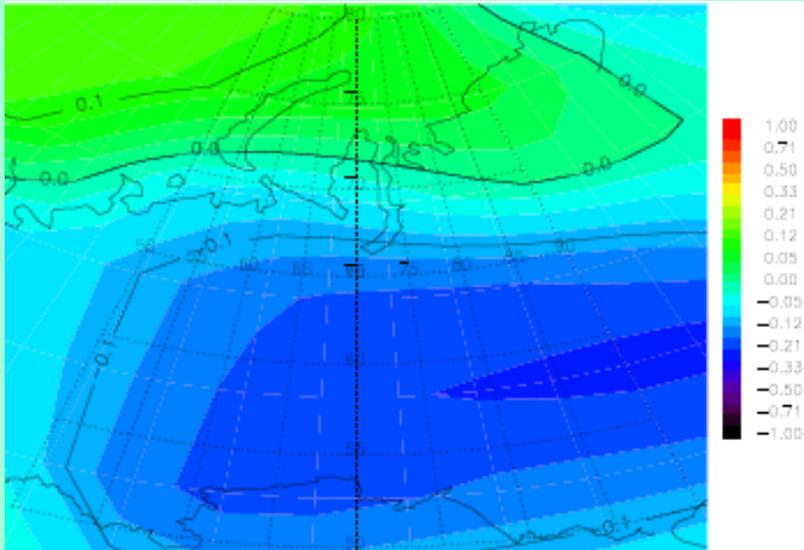


Значение коэффициента корреляции между глубиной снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в феврале, «максимум-ансамбль»

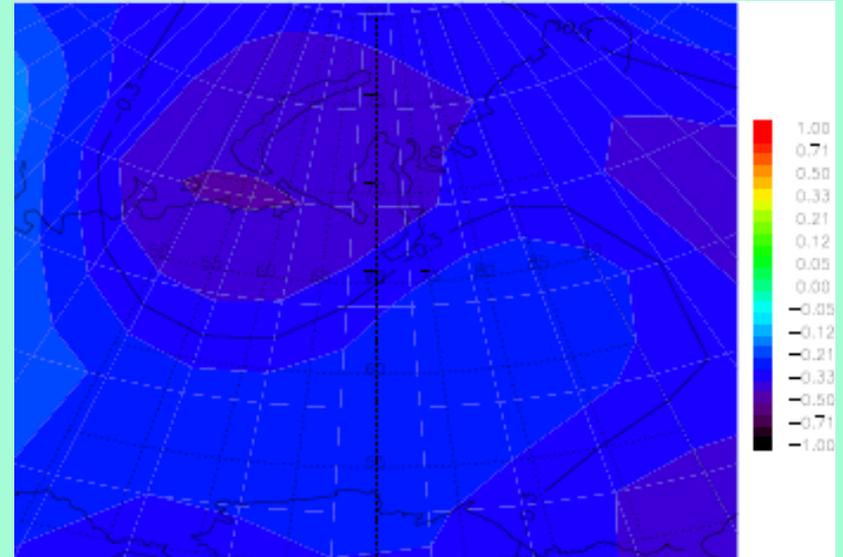


Значение коэффициента корреляции между глубиной снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в феврале, «минимум-ансамбль»

## Анализ результатов моделирования.

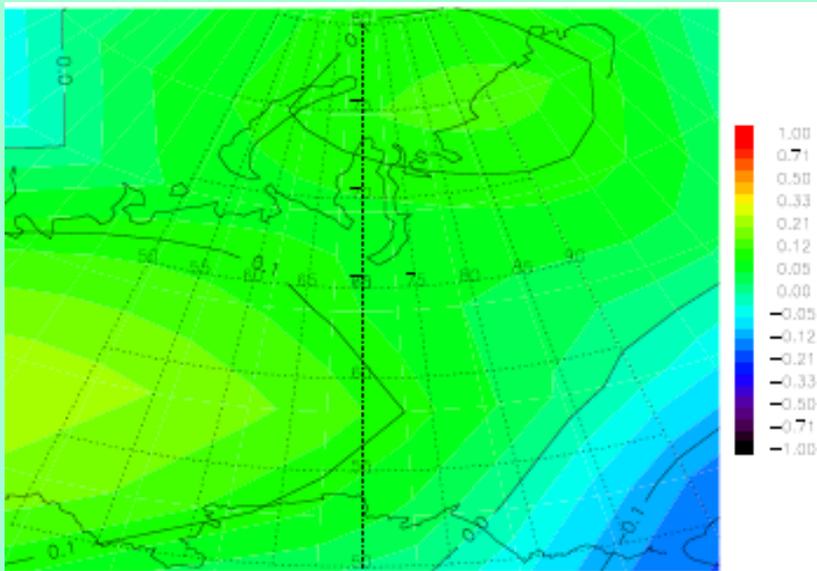


Значение коэффициента корреляции между площадью снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в декабре, «максимум-ансамбль»

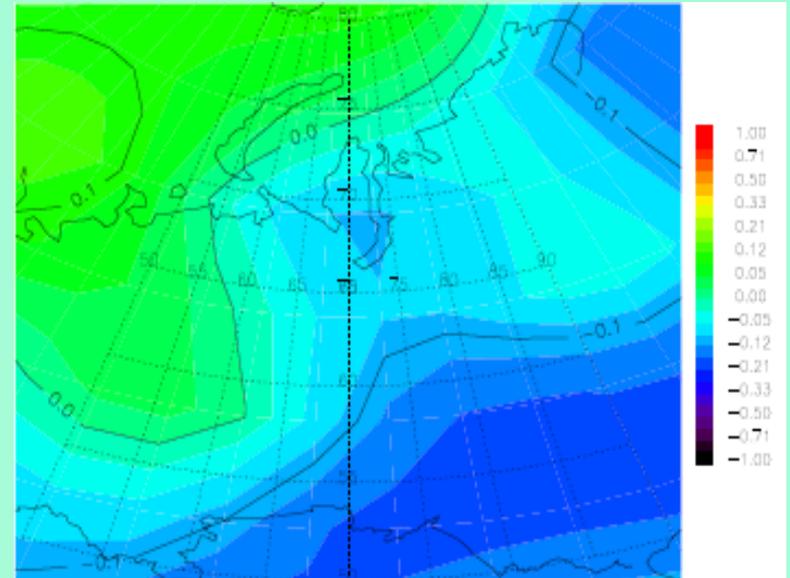


Значение коэффициента корреляции между площадью снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в декабре, «минимум-ансамбль»

## Анализ результатов моделирования.

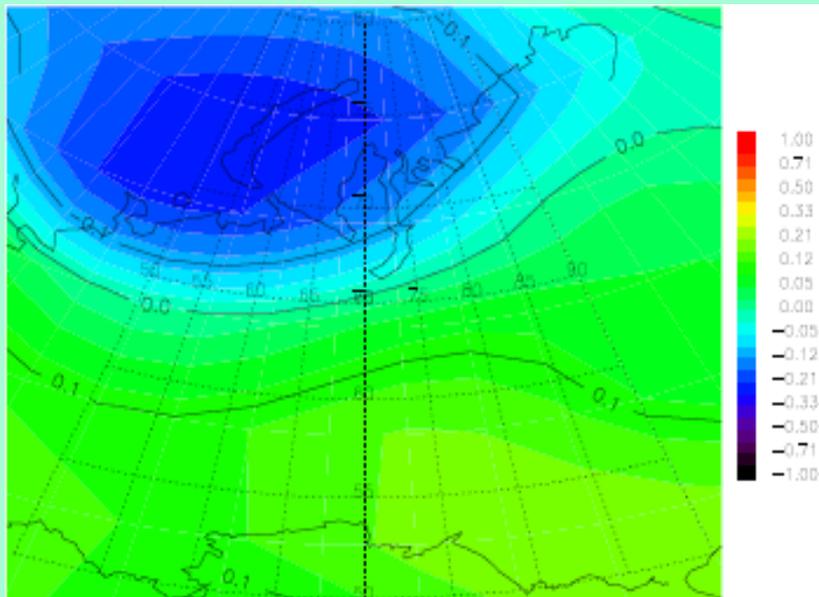


Значение коэффициента корреляции между площадью снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в январе, «максимум-ансамбль»

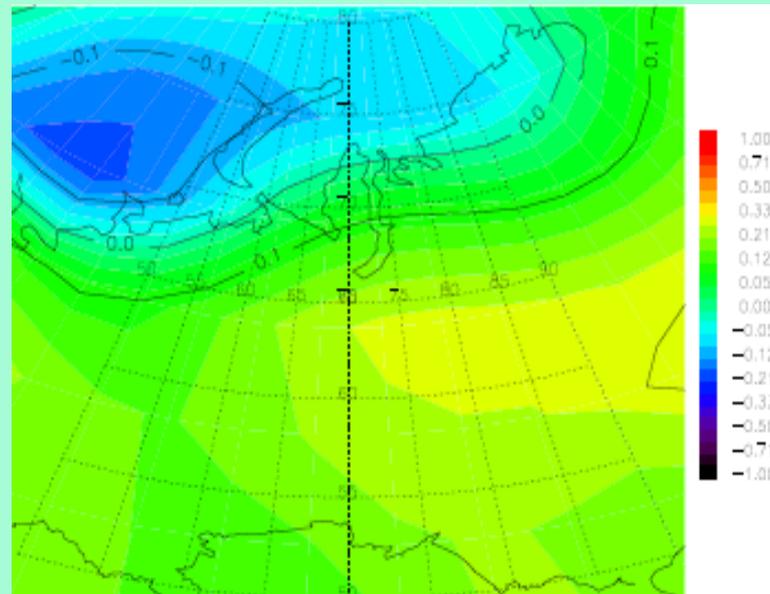


Значение коэффициента корреляции между площадью снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в январе, «минимум-ансамбль»

## Анализ результатов моделирования.



Значение коэффициента корреляции между площадью снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в феврале, «максимум-ансамбль»



Значение коэффициента корреляции между площадью снега в октябре и приповерхностной температурой воздуха в феврале, «минимум-ансамбль»

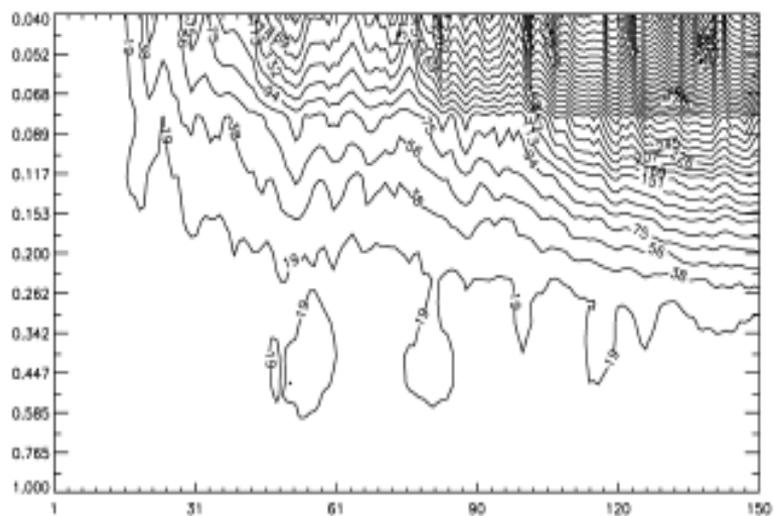
## Нелокальные механизмы влияния аномалий снежного покрова в октябре на термическую структуру в тропосфере.

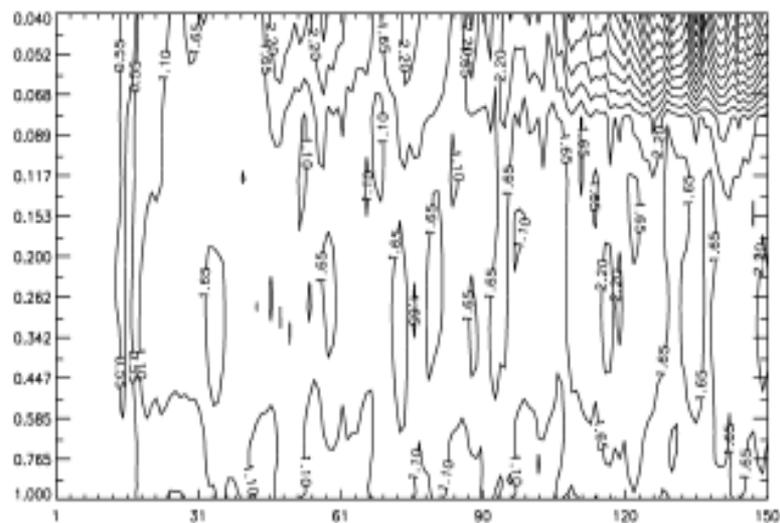
Для интерпретации, полученных выводов, кроме тропосферы, рассмотрим «средний слой», который состоит из верхней тропосферы и нижней стратосферы. Именно здесь происходит взаимодействие между тропосферой и стратосферой. Динамически он определяется как слой, в котором изэнтропические поверхности не лежат целиком в стратосфере и не пересекают поверхность Земли. В зимний период крупномасштабные планетарные волны (эффект влияния гравитационных волн также значим, но здесь не рассматривается) распространяются вверх и разрушаются на уровне стратосферной струи, в результате чего происходит торможение стратосферной струи (сток момента). Анализ взаимодействия стратосферы и тропосферы на основе данных наблюдений показывает, что мощность стратосферной струи тесно связана с Северо-Атлантическими Колебаниями (САК).

В меньшей степени нам известен механизм обратного влияния ???

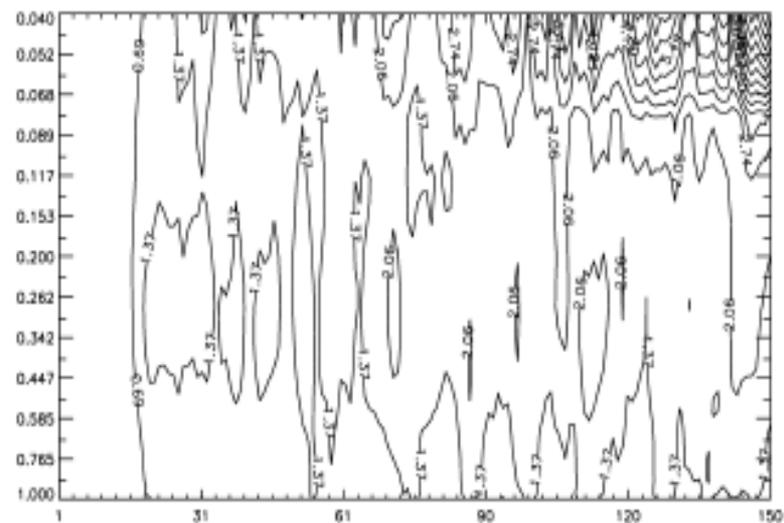
Однако, можно выделить три механизма, которые можно положить, в первом приближении, в основу теории влияния стратосферы на циркуляцию в тропосфере:

- влияние потенциального вихря в стратосфере;
- взаимодействие между зональным потоком и планетарными волнами;
- перераспределение массы за счет вынужденной меридиональной циркуляции.





(a)



(b)

Аномалии зонального и меридионального потоков в слое атмосферы  
 (a) - аномалии зональной скорости;      (b) – аномалии меридиональной скорости

Результаты указывают на то, что

- реакция в поле ветра носит квазибаротропный характер;
- характерно для АК.

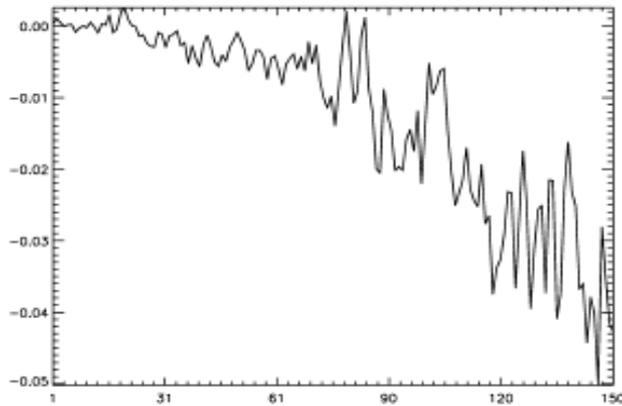
Для оценки степени взаимодействия стратосферы и тропосферы используется поток волновой активности планетарных волн, который определяется через потоки Элиассена-Пальма:

$$\bar{v}^* = [v] - \frac{R}{H\rho_0} \frac{\partial}{\partial z} (\rho_0 [v' T'] / N^2), \quad \bar{w}^* = [w] + \frac{R}{H} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{[v' T']}{N^2} \right)$$

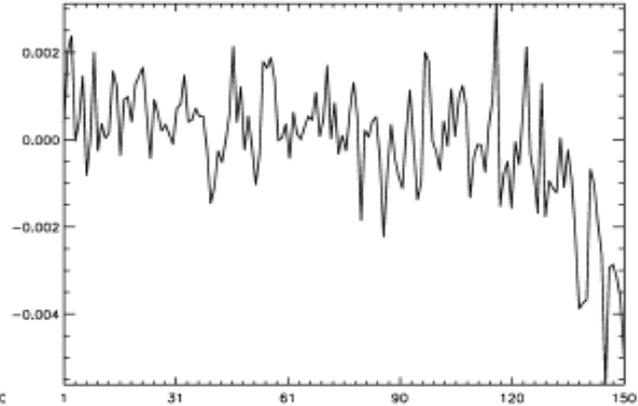
$$\bar{\Psi}^* = [\Psi] + \rho_0 \frac{R}{H} \left( \frac{[v' T']}{N^2} \right) \Rightarrow \begin{array}{l} \text{функция тока} \\ \text{по знаку можно определить направление вынужденной} \\ \text{меридиональной циркуляции:} \end{array}$$

Для крупномасштабных квазигеострофических вихрей поток Элиассена-Пальма (ЭП) в плоскости (y,z) имеет следующие компоненты, соответственно вертикальный и горизонтальный:

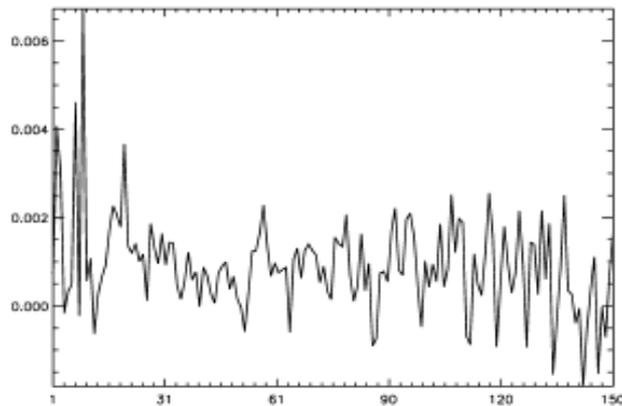
$$F_z = \rho_0 f_0 R \left( \frac{[v' T']}{N^2 H} \right), \quad F_y = -\rho_0 [u' v']$$



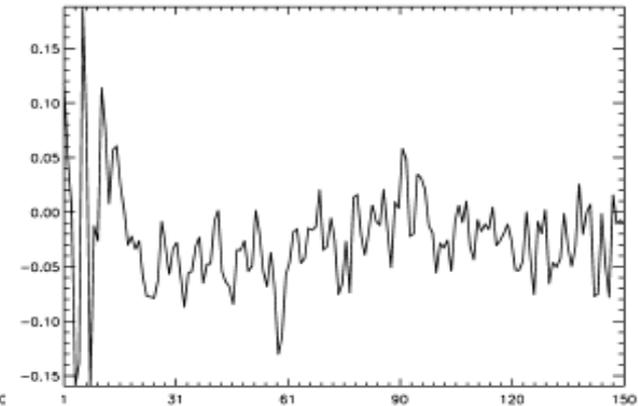
(a)



(b)



(c)



(d)

Вертикальные потоки ЭП, вычисленные по двум сценариям  
 а)  $\sigma=0.04$ ; б)  $\sigma=0.12$ ; в)  $\sigma=0.2$ ; г)  $\sigma=0.92$

Анализ данных показывает, что в нижней стратосфере вертикальный градиент является отрицательным (поток резко убывает с начала зимнего сезона), а в нижней тропосфере - положительным.

Из этого можно предположить, что вихревой поток тепла усиливает результирующую меридиональную скорость в нижней тропосфере, направленную к экватору в окрестности 60с.ш. (широта максимальной изменчивости потоков), в зимний период.

Соответствующая вертикальная скорость в тропосфере направлена вниз справа от широты 60с.ш. и вверх слева от этой широты.

Из уравнений баланса зонального момента и неразрывности для результирующей циркуляции можно получить соотношение для вертикальной скорости:

$$\rho_0 \bar{w}^* = -\frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{1}{f_0} \int_z^{\infty} \rho_0 \nabla \cdot \mathbf{F}_{EP} dz \right]$$

Из этого соотношения непосредственно следует, что

если выше некоторой высоты  $z$  дивергенция потоков ЭП (вихревой источник) отрицательна и локализована, то справа от источника вертикальная скорость направлена вниз, а слева – вверх

Это соотношение показывает степень влияния стратосферы на циркуляцию в тропосфере как реакцию стратосферы на волновые возмущения, поступающие из тропосферы.

Это влияние в некоторых случаях может распространиться до нижних слоев тропосферы, что мы видели в поле аномалий геопотенциала и поля скорости ветра.

Однако, учитывая, что в нижней тропосфере в зимний период главную роль играет бароклинная турбулентность, влияние стратосферы в этом слое может оказаться незначительным???

## Заключение.

- Наибольшее влияние аномалии снежного покрова территории Сибири в октябре оказывают на приземную температуру в декабре;
- Вариации глубины снежного покрова территории Сибири оказывает заметное влияние на приземную температуру в зимний сезон в условиях экстремально большой величины снежного покрова, а влияние изменения площади снежного покрова наиболее сильно проявляется в условиях экстремально малой величины снежного покрова;
- Для оценки надежности полученных результатов, были вычислены уровни статистической значимости сигнала в поле приземной температуры на основе t-статистики Стьюдента. Высокая значимость аномалий в поле температуры получена для декабря и февраля в обоих ансамблях, в январе оценка оказалась низкой;

## Заключение (продолжение)

- поля корреляций показали, что области, соответствующие высоким значениям корреляций совпадают с областями с высоким уровнем статистической значимости;
- Предлагается возможный механизм взаимодействия тропосферы и стратосферы, посредством которого осуществляется влияние изменения величины снежного покрова на температуру поверхности в зимний сезон

**Благодарю за внимание!**