

В.Ф.Мартазинова, В.Е. Тимофеев

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Киев

## **О роли атмосферной циркуляции в изменении климата в районе Антарктического полуострова**

**On the role of Atmospheric Circulation in Climate Change  
in the ANTARCTIC PENINSULA region**



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПОЛЯРНЫЙ ГОД



INTERNATIONAL 2007-2008  
**POLAR YEAR**

2007-2008

МПГ 2007-2008 организован Международным Советом по науке (ICSU) и ВМО, включив более 200 проектов, представленных учеными из более чем 60 стран.

## **Основные задачи МПГ 2007-08:**

- 1. Определить современное состояние полярных районов и их планетарную роль, с изучением пространственно-временные масштабов взаимодействий
- 2. Изучить возможные последствия изменений климата в Антарктике.
- 3. Изучить внутреннее строение Земли, геокосмос, Солнце.
- 4. Исследовать культурные, исторические, социальные процессы, которые формируют приспособленность и развитие людских сообществ, с оценкой их вклада в планетарную культуру (Арктика).

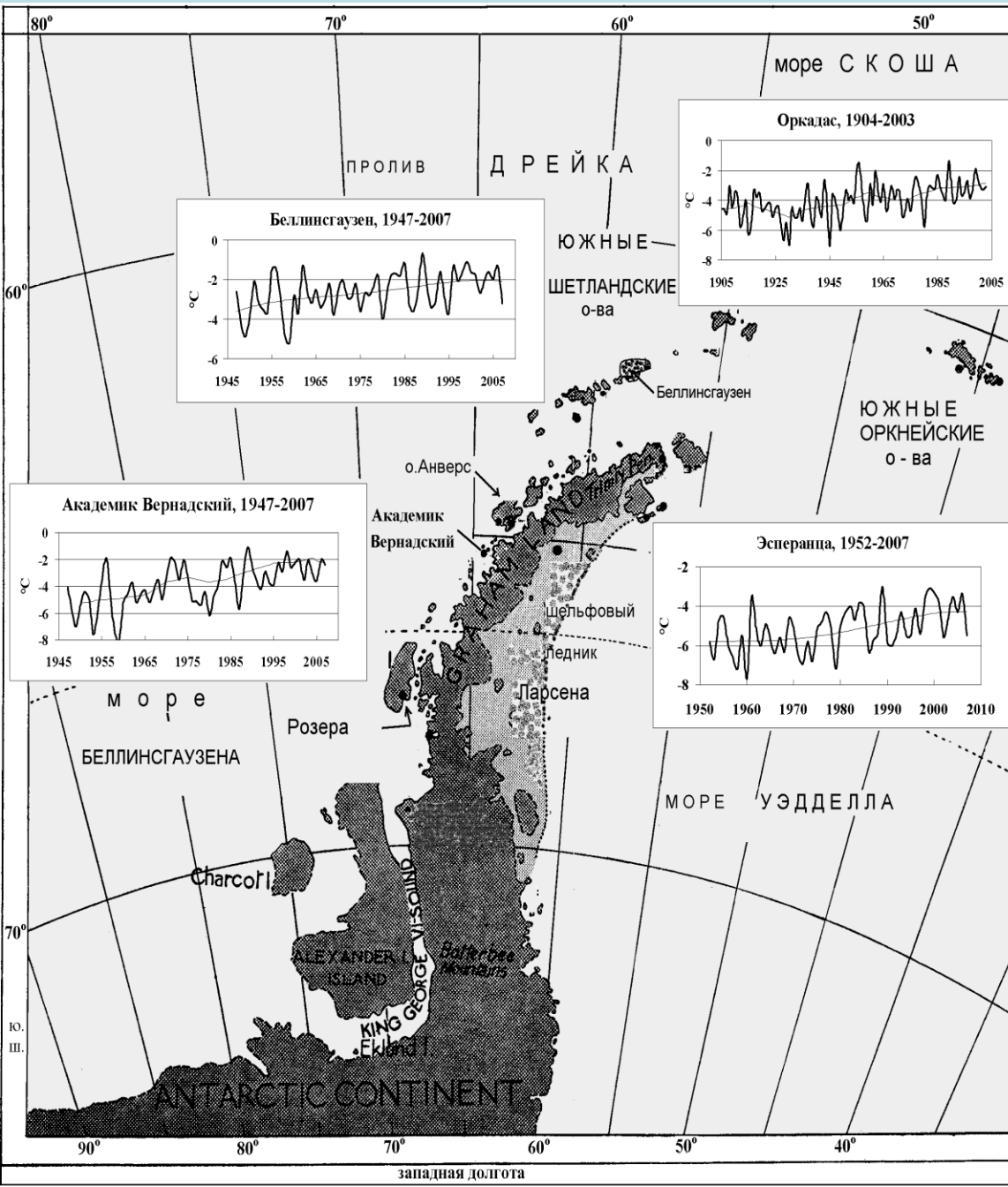
в рамках МПГ выполняется проект 'Анализ преобразования крупномасштабных атмосферных процессов Южного полушария в результате глобального потепления для разработки физико-статистических методов прогноза погоды на Антарктическом полуострове', N 1151, науч. рук. д. ф.-м.н., проф. Мартазинова В.Ф.

Проект является составной частью общего Проекта МПГ # 180 'Antarctic Climate and Atmospheric Circulation' (D. Bromwich, Byrd Polar Center USA, J. Turner, BAS).

# Содержание доклада

- **ХАРАКТЕР РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА И СТАНЦИИ АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ.**
- **ЧЕРТЫ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ (ЮПО).**
- **КЛАССИФИКАЦИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В Западном Секторе Антарктики по классам вероятности 1991–2000 гг. и периода 2001–2007 гг.**
- **КАТАЛОГ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА, его применение**
- **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НАД АНТАРКТИЧЕСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ**
- **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АНТАРКТИКИ**

# Физико-географические и климатические особенности



1). Пограничное положение Антарктического полуострова между континентальной Антарктидой и умеренными широтами. Удаленность от основного континентального очага холода.

2). Формирование региональных форм океанской, атмосферной циркуляции из-за неоднородной орографии

3) Наличие различных форм оледенения, а также специфичное распределение морских льдов.

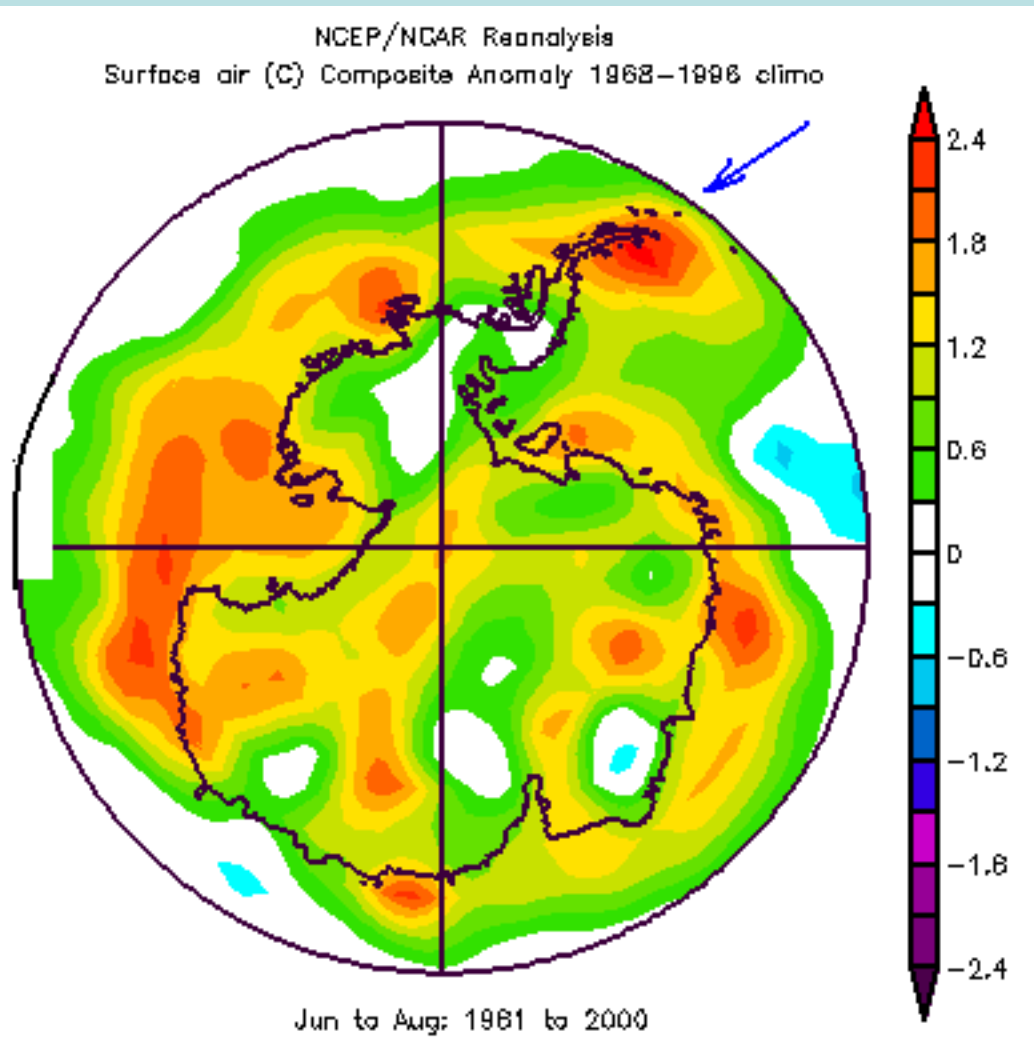
4). Относительная близость к зоне действия Эль-Ниньо-Южного Колебания.

# Українська антарктична станція Академік Вернадський, $65^{\circ}14'$ пд.ш., $64^{\circ}17'$ з.д. до 1996 р. – Фарадей, в 1950-60 pp. ‘Argentine Islands’

Другий за тривалістю  
безперервний ряд  
метеорологічних спостережень в  
Антарктиці, з 1947 р.



# Региональное потепление как основная характеристика климата

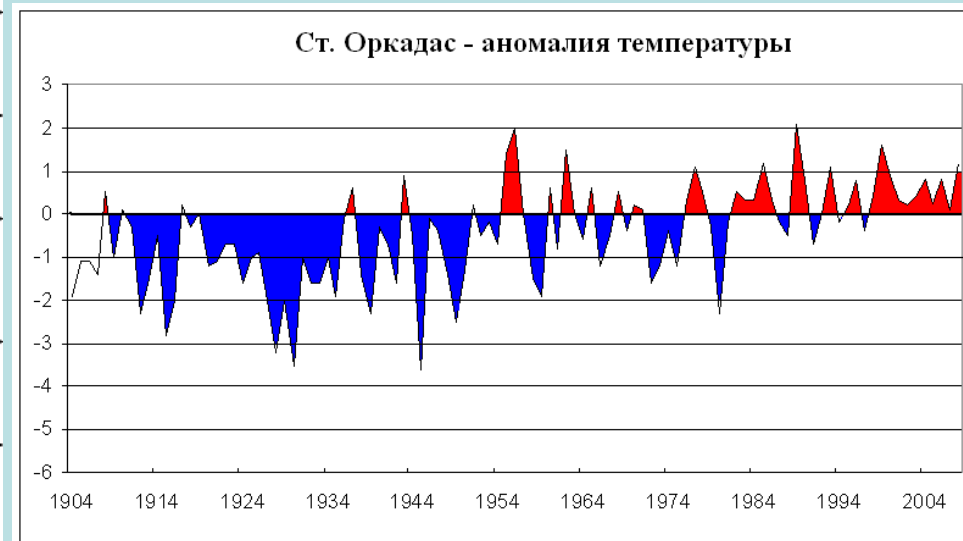
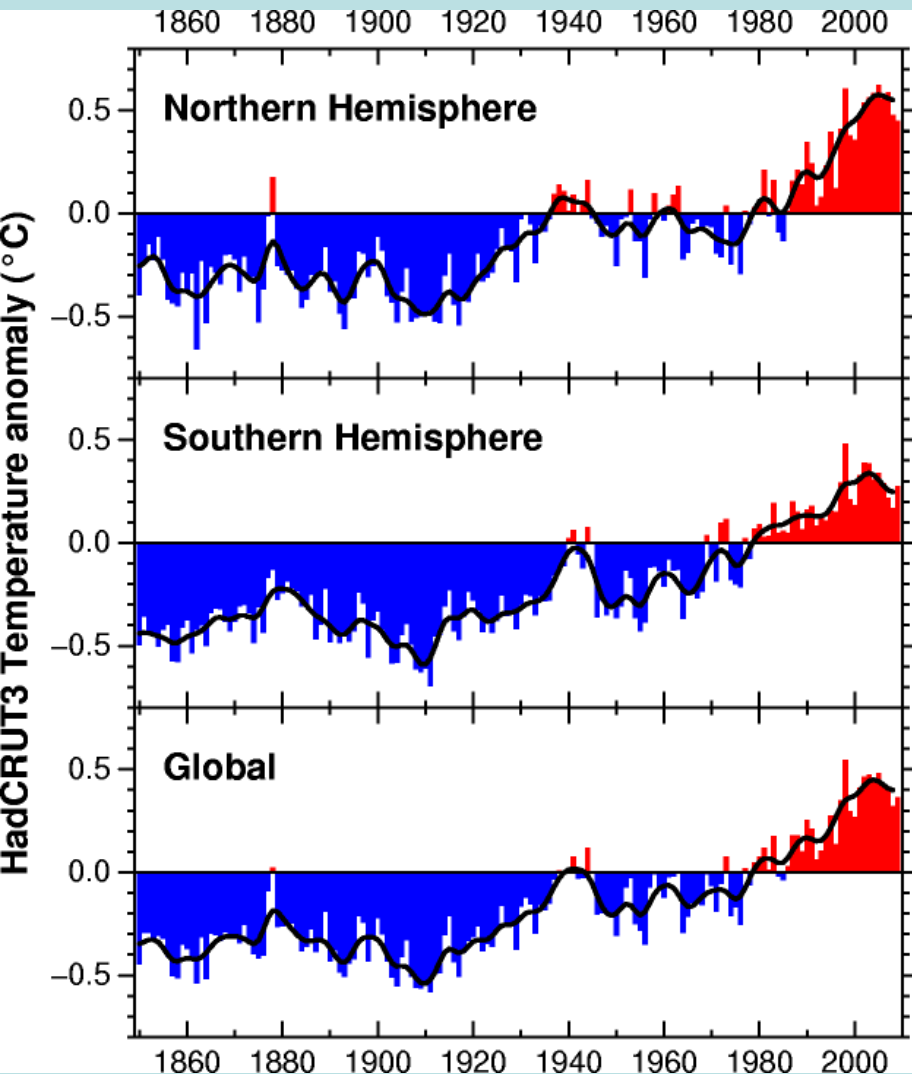


В районі Антарктичного п-ва спостерігається одне з найбільших зростань приземної температури повітря, в тому числі за даними української антарктичної станції (на тлі стабільної температури у Континентальній частині)

One of the greatest rates of growth in near-surface air temperatures in the Southern Hemisphere is registered in the region of Antarctic Peninsula and surrounding Subantarctic Islands.

# Відповідність глобальним змінам: дві фази потепління у ХХ столітті

Correspondence to global changes, including two-phase warming in XX century



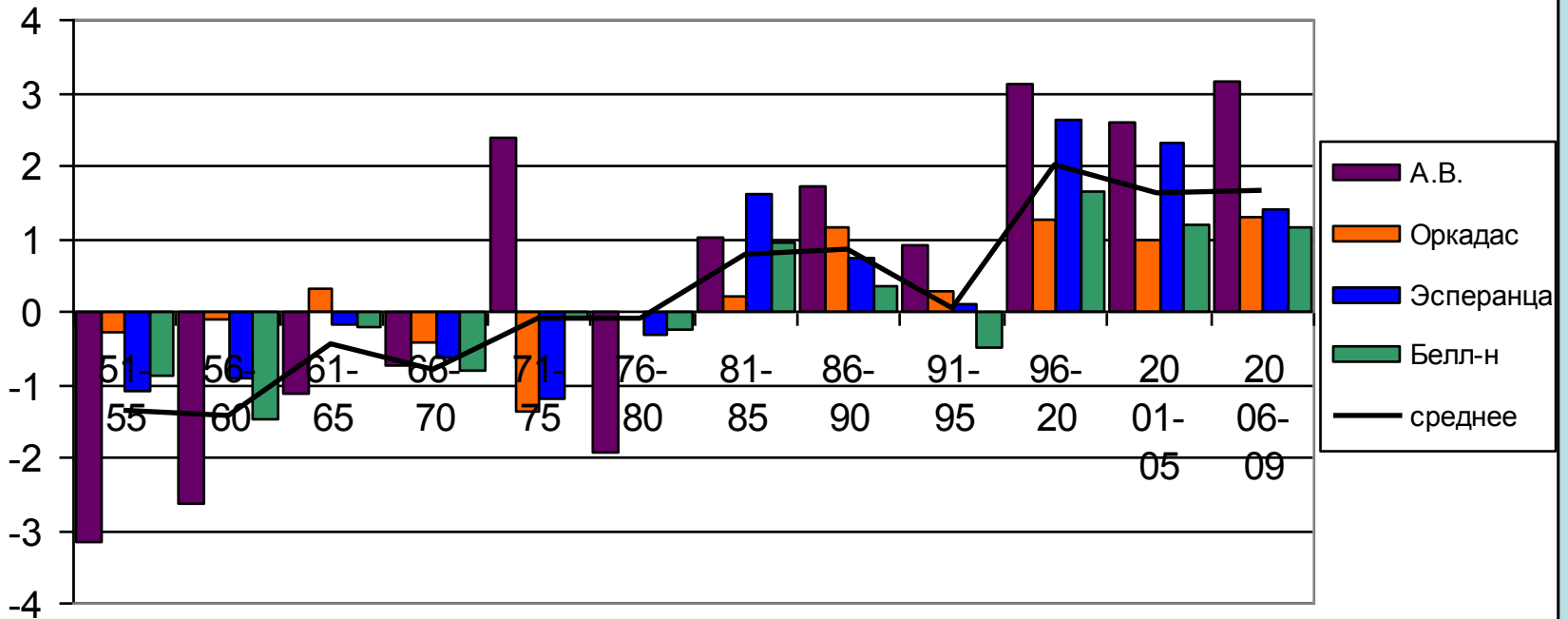
- Багаторічні зміни температури повітря на ст. Оркадас (з 1904 р).

# Багаторічний хід потепління на станціях регіону Multi-years' course of regional warming

Потепління між серединою і кінцем XX ст.,  
найтепліше 5річчя – 1996-2000рр.,

після 2001 р.: температури залишаються вище норми, але на більшості станцій додатня аномалія зменшується (аномалія від норми 1961-1990 рр).

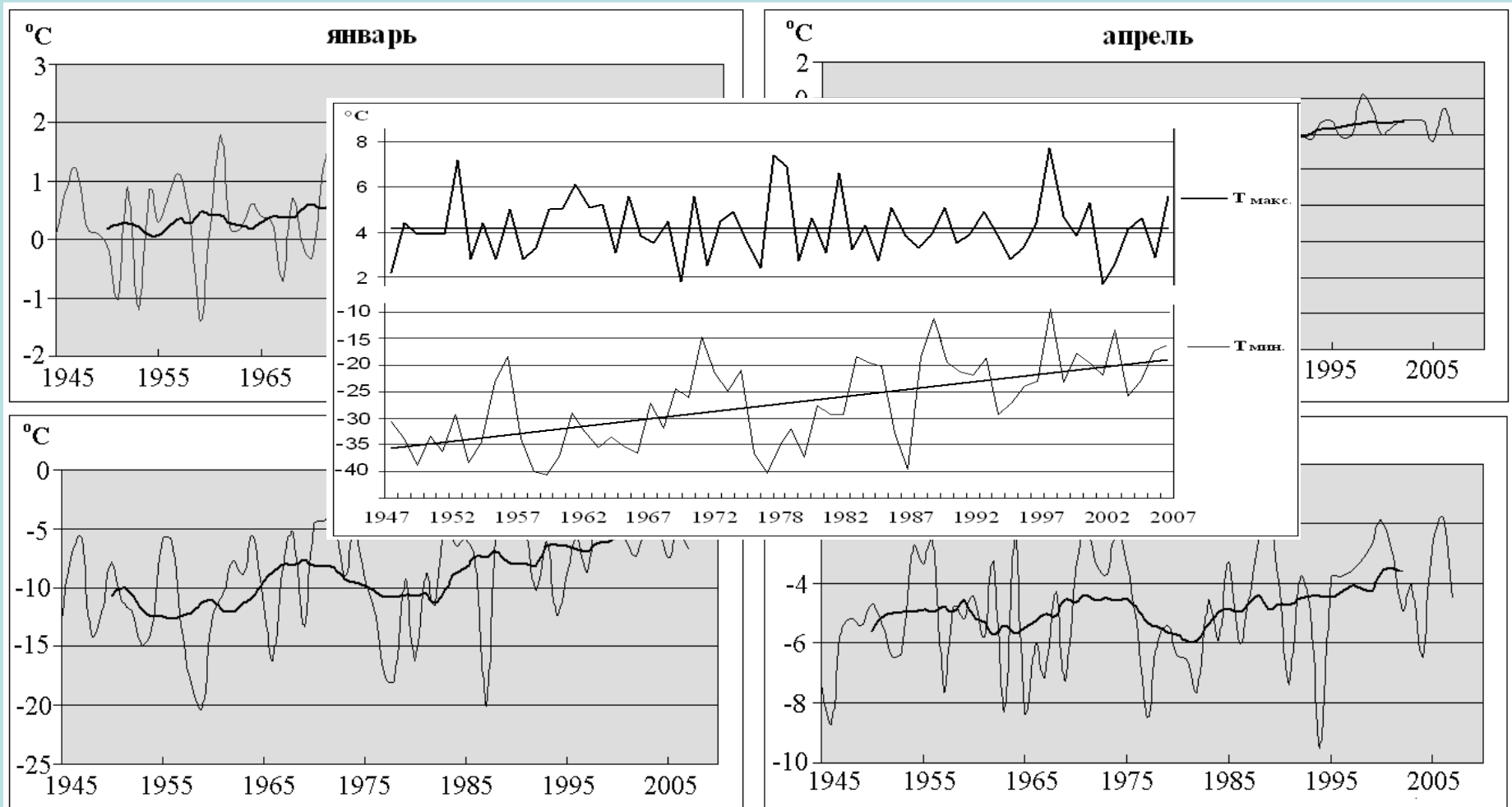
Накопленные аномалии средней годовой температуры воздуха





# Сезонні зміни на ст. Вернадський (з 1947 р.)

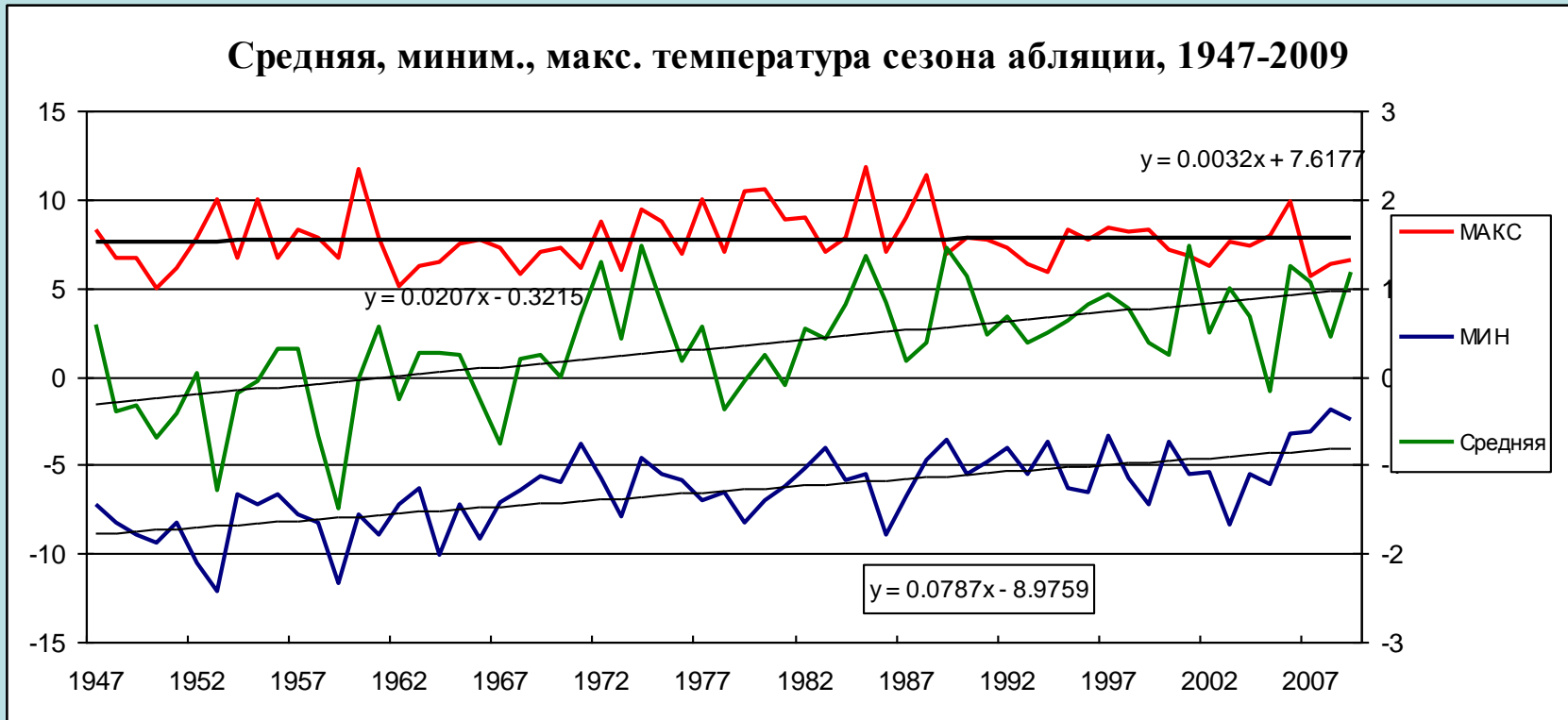
Найбільше Потепління у зимовий і осінній сезони (квітень-серпень),  
Найменше – у літній (грудень-лютий) і весняний (жовтень-листопад),  
зростання мінімальної температури у всі сезони, зниження амплітуди температури повітря: міжрічної, міжсезонної і міждобової;  
зниження ймовірності сильних і тривалих похолодань в зимові місяці (нижче  $-30^{\circ}\text{C}$ ).



# Деталізація: літній сезон (абляції)

## Summer season warming – crossing melting point

- перехід через нульову позначку середньої температури, розширення періоду абляції (деградація льодовиків),
- послаблення добового ходу



# Массбалансовые измерения, ледник о. Галиндез: отрицательный баланс массы



**Баланс массы: 1996-2000: - 134 мм,  
2001-2007 гг.: -65 мм.**

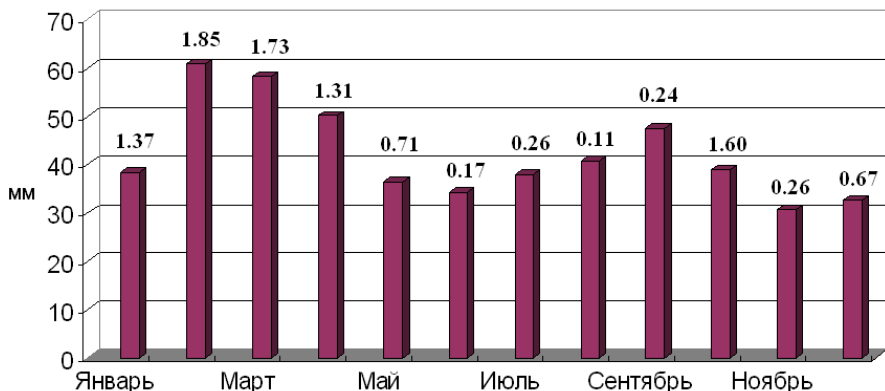
Сильные межгодовые колебания  
толщины снежного покрова, 2000-2006



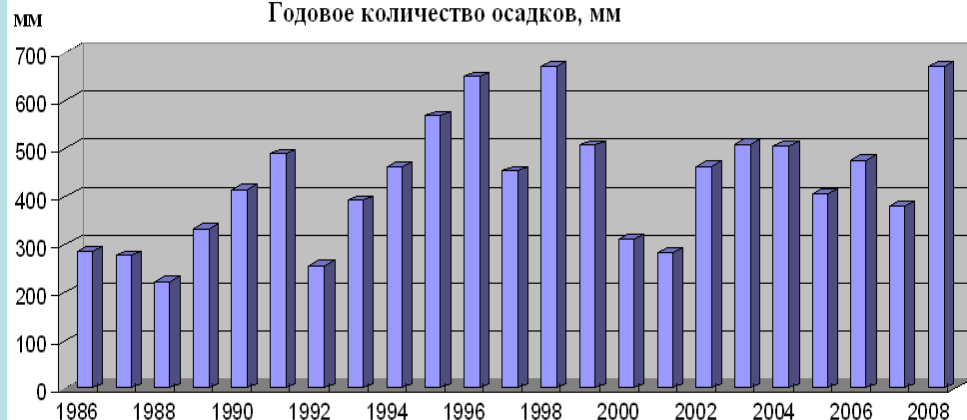
# Изменение режима отдельных метеовеличин

**АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ:** По данным ст. Вернадский, 2 сезонных максимума количества осадков, наибольший рост в январе-апреле, в годовом ходе максимум 1996-2000 гг., значительные межгодовые колебания

Среднее месячное количество осадков и коэф. линейного тренда, 1986-2009

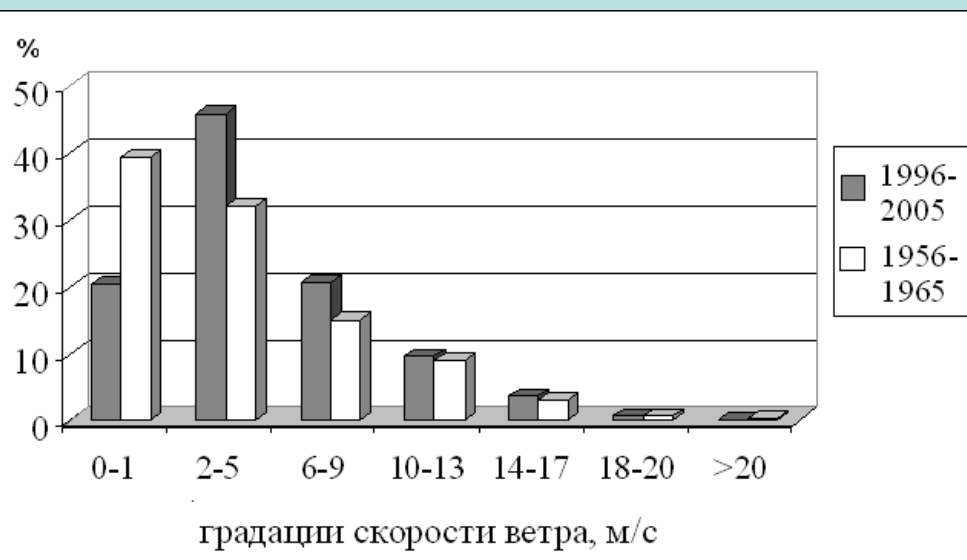


Годовое количество осадков, мм



**Скорость ветра** возрастает, и наиболее заметно - в течение последних двух десятилетий. Число дней с сильным ветром (более 20 м/с) также возрастает.

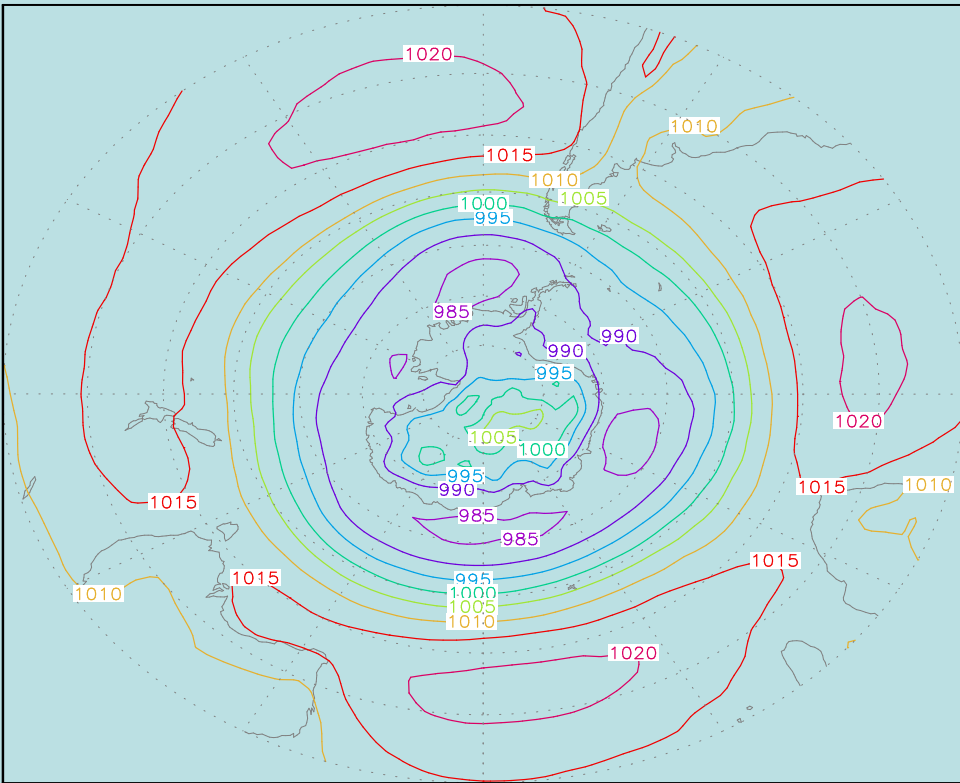
Распределение скорости ветра по градациям, ст. Академик Вернадский, 1956-1965 и 1996-2005 гг.



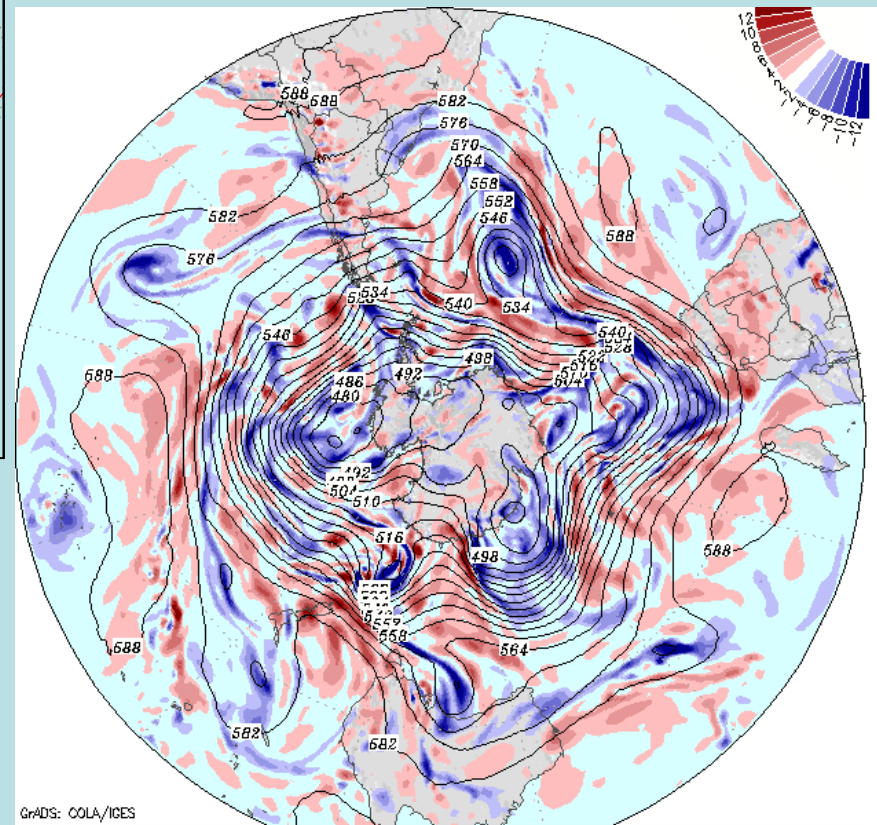
# АТМОСФЕРНА ЦИРКУЛЯЦІЯ

## ATMOSPHERIC CIRCULATION

jan SLP 19901998 (mb) 1000



Система циркуляції з 4 центрами дії над Південним океаном, (щонайменше 4 синоптичні хвилі на середньому рівні)



GrADS: COLA/ICES

GFS Analysis: 00Z Sat 13 NOV 2010

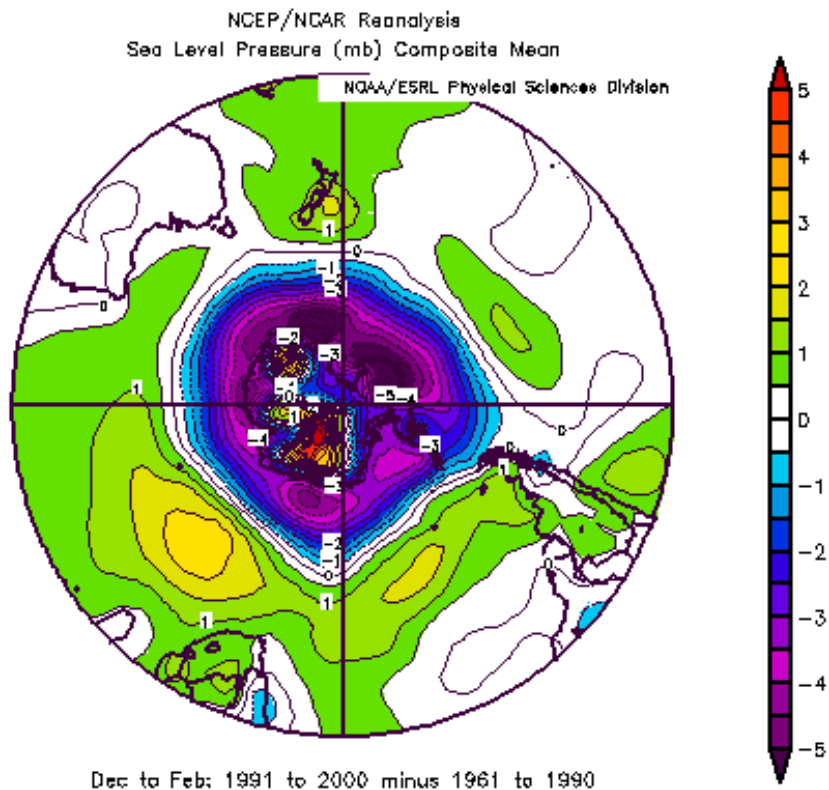
500mb Geopotential Heights (dam), Vorticity (1e<sup>-4</sup>/sec)

# Атмосферна циркуляція: риси глобальних змін

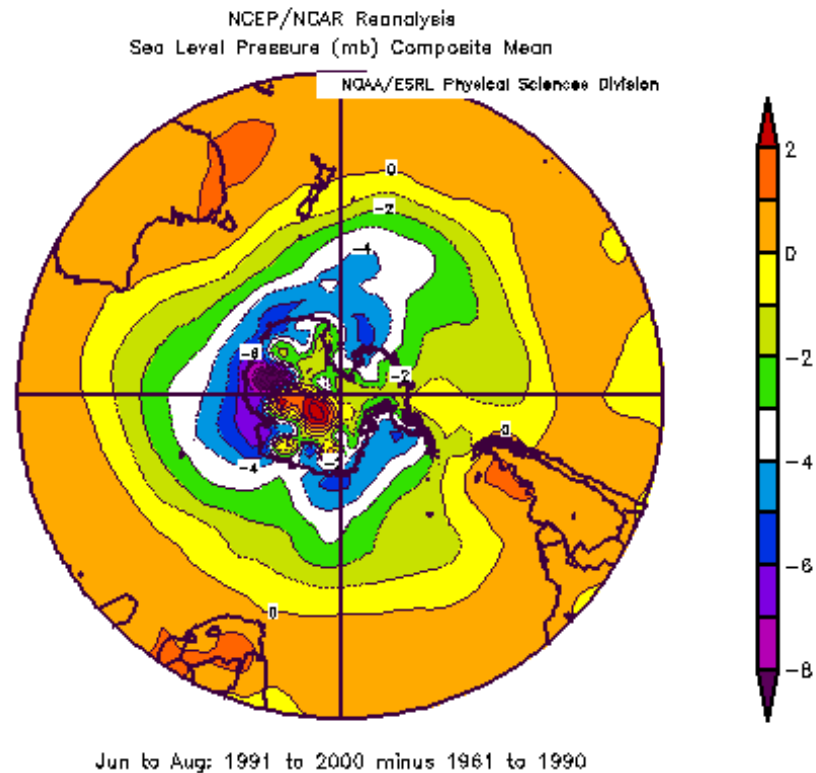
Atmospheric circulation change: IPCC Report, 2007

- **Атмосферний тиск з 1948 до 2005 р. взимку зменшився у Арктиці, Антарктиці та Північній частині Тихого океану та в Сибіру, але збільшився у субтропічній Атлантиці, Південній Європі та Північній Африці. Інтенсивність градієнтів тиску у помірних широтах та зональна циркуляція мають тенденцію до посилення в обох півкулях, особливо взимку, з кінця 1970-х рр.**
- Активність циклонів в обох півкулях: відбувся зсув до полюсу траєкторій циклонів, збільшення інтенсивності, проте зменшення їх загальної кількості. Інтенсифікація і переміщення до полюсу Атлантичної частини полярної ВФЗ, зон дії ЦДА на північний схід; аналогічні тренди були виявлені й у Південній півкулі.
- **Повторюваність явищ блокування вздовж південної частини Тихого океану змодульована Ель-Ніньо-Південним коливанням (Рутланд та Фюендзаліда, 1991, Ренвік, 2005).**
- **В Антарктиці, за даними радіозондування, відзначено зниження геопотенціальних висот в низькій стратосфері (ЦПВ) з жовтня по травень, між 1969 та 1998 роками (Томпсон та Соломон, 2002).**

# Аномалії атмосферного тиску: загальне зниження протягом року (1991-2000) – (1961-1990 гг.)



Літо

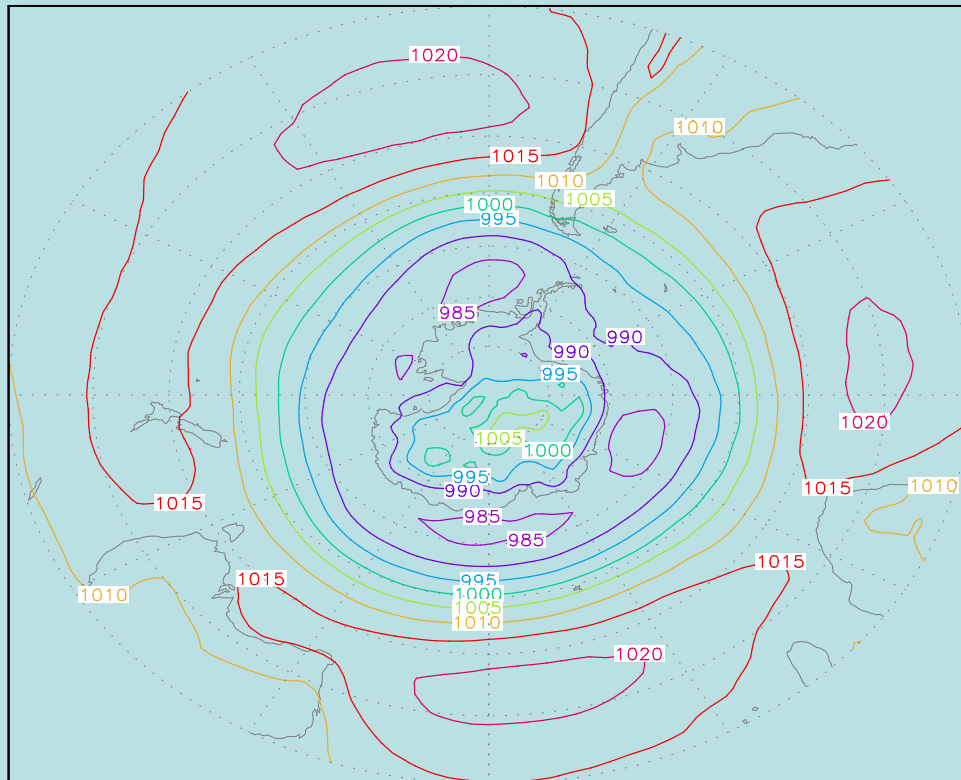


Зима

Зниження тиску в Південному океані – посилення зонального переноса

# ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ: Классификация

jan SLP 19901998 (mb) 1000



**выделение синоптических  
ситуаций  
(полей давления),  
обуславливающих погодные  
условия в регионе**



# Классификация атмосферной циркуляции по классам вероятности

**Метод:** использован метод расчета эталонов (проф. В.М. Мартазинова, УкрНИГМИ), с применением двух критериев подобия:

1) геометрического подобия полей, с учетом знака аномалии между полями (узлами сетки):

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{K}$$

(критерий подобен коэффициенту корреляции);  $n_+$  количество совпадений,  $n_-$  количество несовпадений знаков аномалий,  $K$  – количество полей

2) средний квадрат расстояния между полями  
(соответствующими узлами сетки):

$$\eta^2 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K (x_{ij} - x_{il})^2$$

К **наиболее вероятному классу** полей давления относят поля с  $\rho \geq 0.3$ . Наиболее вероятное поле выбирается из условия

$$\theta_{\max} = \sum_i^p \rho_{ij} \quad \vartheta_{\min} = \frac{1}{p} \sum_i^p \eta_{ij} \leq 1$$

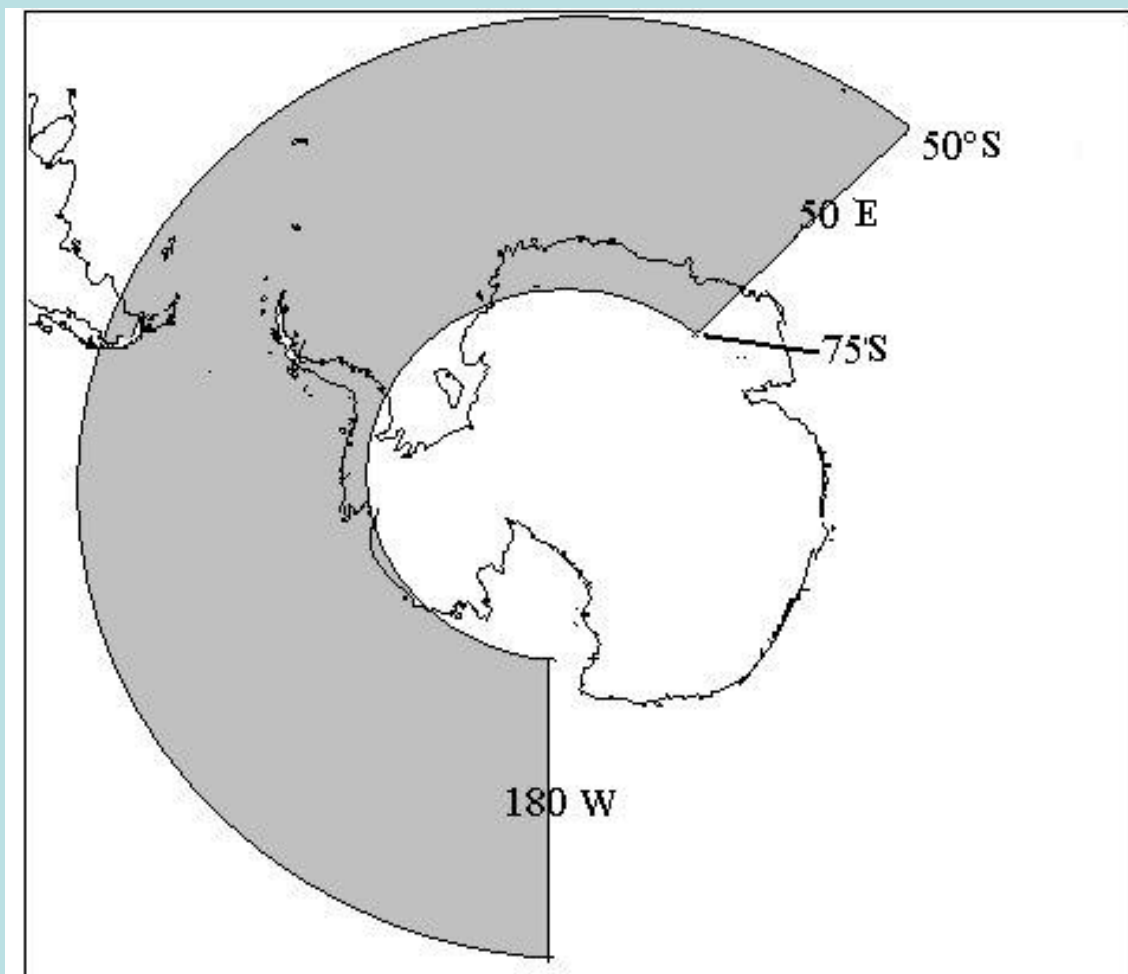
Другой класс полей давления выделяется при  $0 < \rho < 0.3$  (средней вероятности).

К **наименее вероятному классу** полей приземного давления относится класс с  $\rho < 0$  и обычно наименьшим объемом выборки, который представляет редкие поля приземного давления

# Область расчета полей давления (180з.д. – 50в.д.)

## Area of research

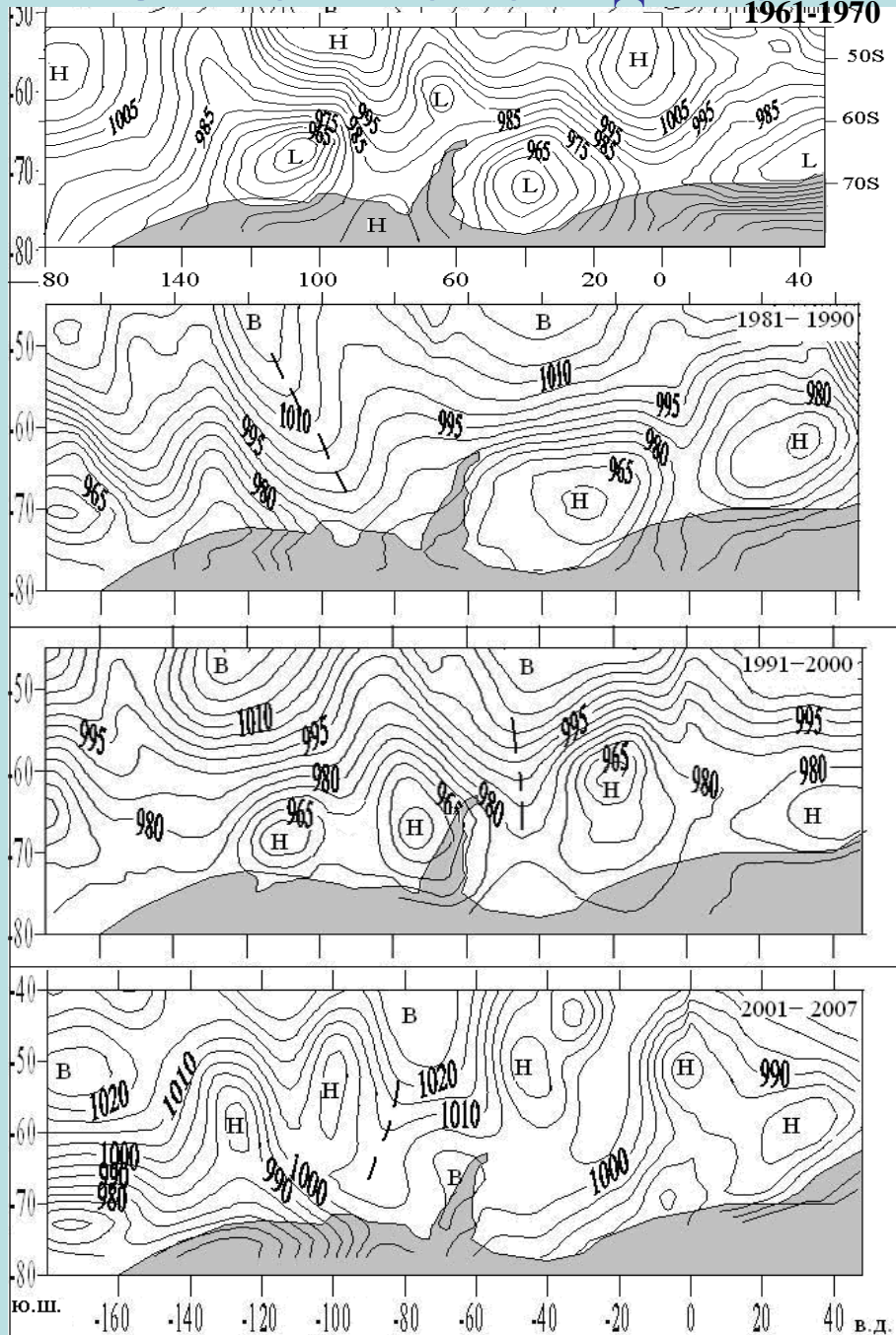
Включает основные центры действия в морях Росса, Беллинсгаузена, Уэдделла



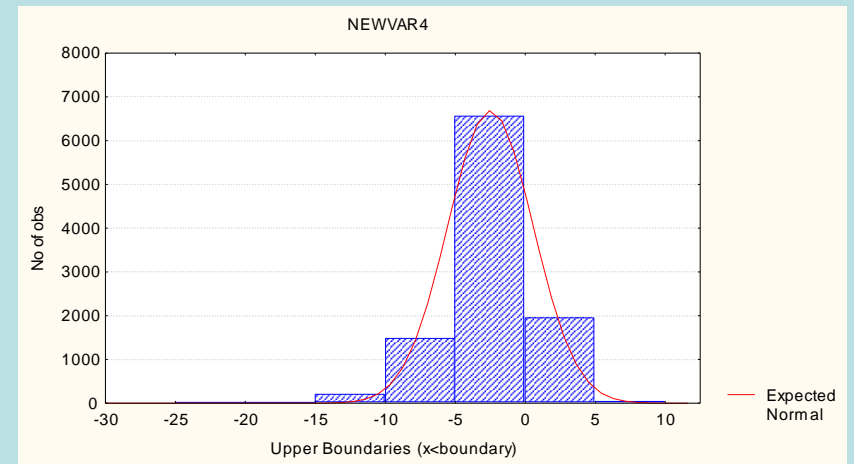
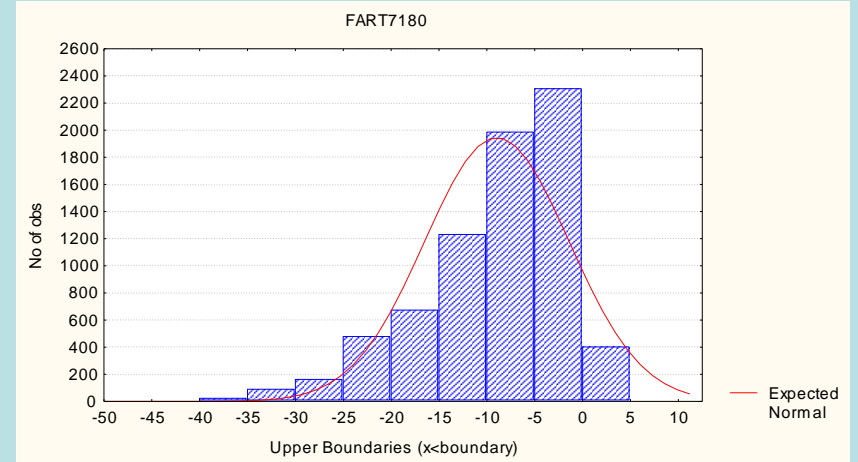
# Используемые данные

- **Реанализ ERA-40**, Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), с 1957 по 2002 гг., с шаг сетки  $2.5 \times 2.5^\circ$ . Процесс обработки данных разделен на 3 отдельных потока, каждый из которых был основан на разных типах данных и имел свою процедуру усвоения: Часть 1 – 1987-2001 гг., часть 2 – 1957-1972 гг., часть 3 – 1972-1988 гг.
- **Реанализ NCEP-NCAR** (центр атмосферных исследований, США), шаг сетки  $2.5 \times 2.5^\circ$ , с 1947 г. Данные спутниковых систем были введены в систему с 1979 г. для Южного полушария, что повысило надежность прогнозов (Kistler, 2001).
- **Данные антарктических станций, синоптические материалы:** архив ААНИИ (с 1957 г.), Австралийское Бюро погоды, Чилийская военная служба.

# Эталонные поля давления наиболее вероятного класса по десятилетиям, 1961–2000 гг. и периода 2001–2005 гг. (зима)

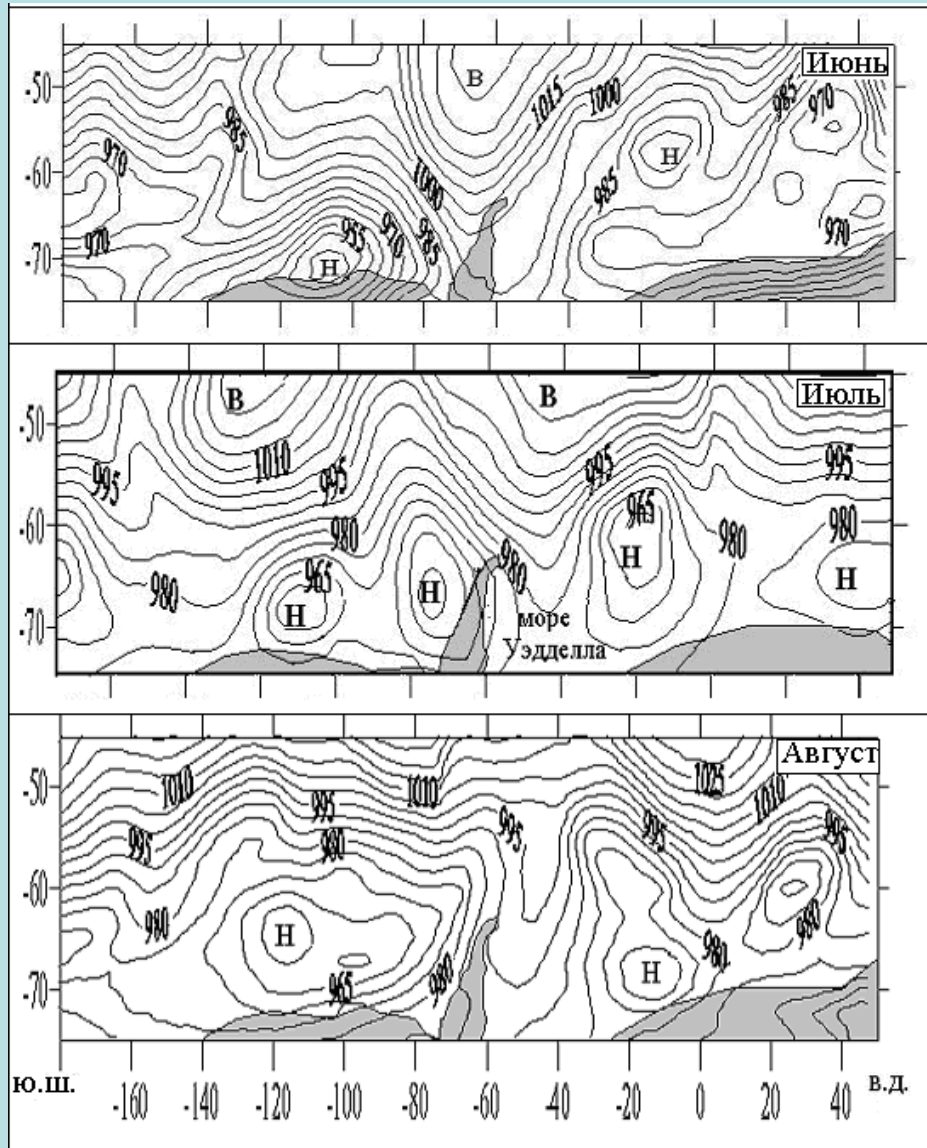


десятилетиям, 1961–2000 гг. и периода 2001–2005 гг. (зима)



**Распределение температуры воздуха (8 сроков), 1961-1965 гг. (холодное 5летие), 1996-2000 гг. (теплое)**

# Классификация по классам вероятности, зимние месяцы 1991–2000 гг : поля давления наиболее вероятного класса (обеспеченность 63-72%).

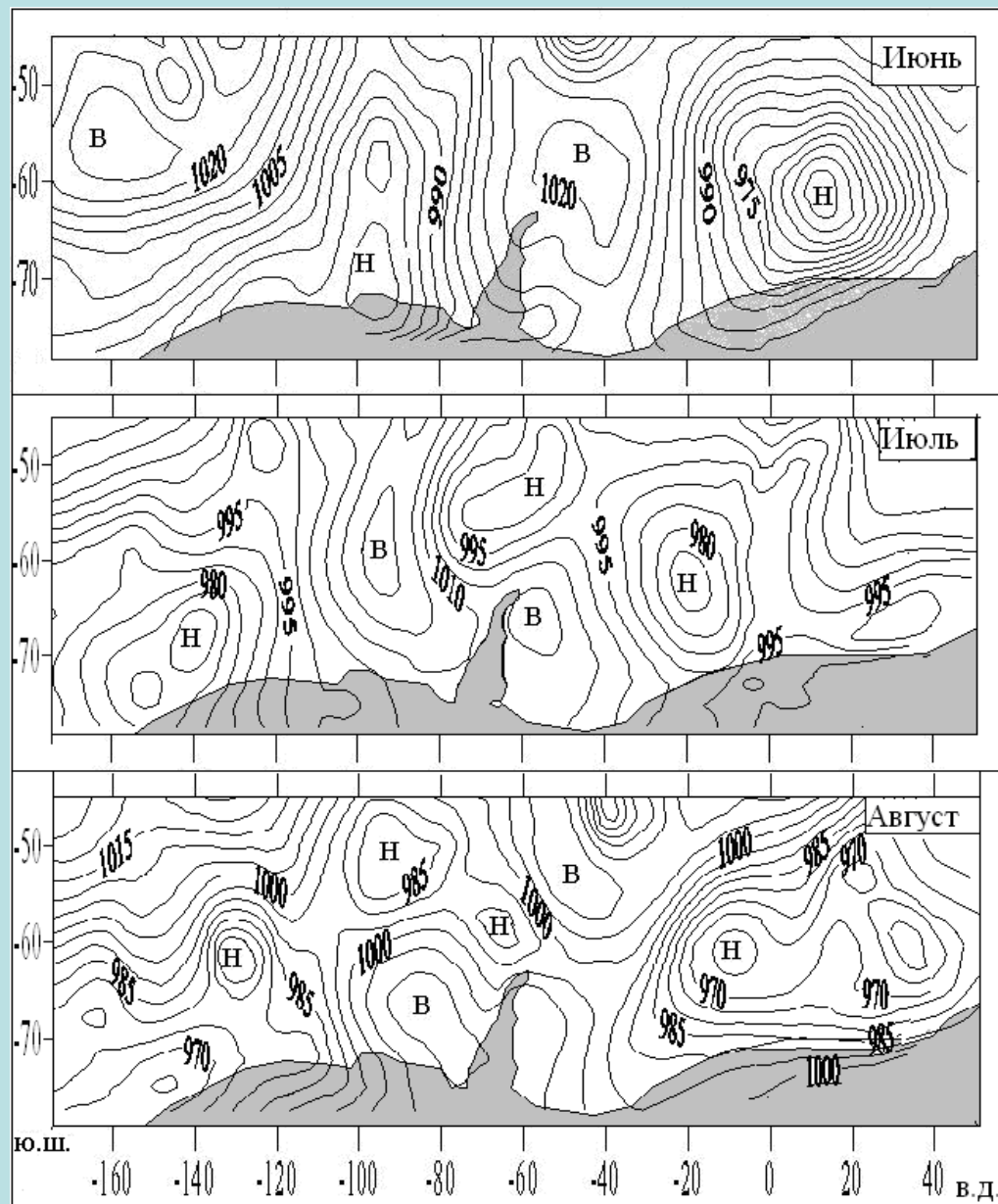


Циклоны преобладают в западном секторе Антарктики, море Беллингаузена, с адвекцией теплого воздуха к Антарктическому п-ову

Антарктический п-ов расположен у границы зон действия ЦДА – циклона в Западном секторе и гребнем над морем Уэдделла.

Погодные условия: в зависимости от положения гребня. Температура в основном выше нормы.

# Эталонные поля давления второго класса вероятности, зимние месяцы 1991–2000 гг. (обеспеченность 10-25%).



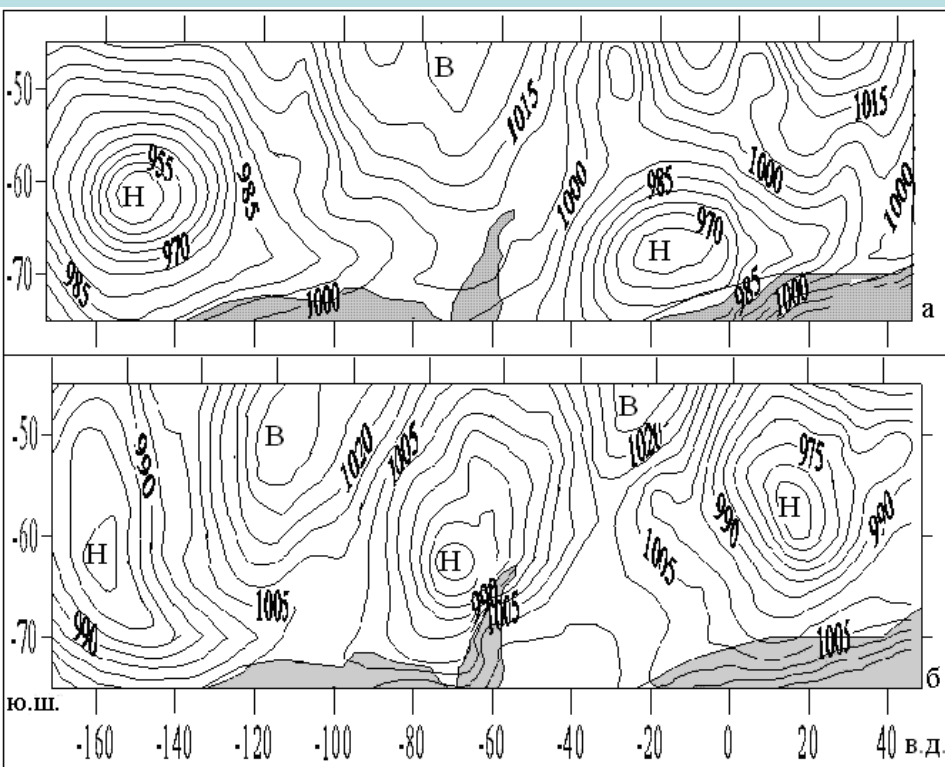
Значительная интенсивность меридионального преобразования, с перемещением областей высокого давления на юг, в том числе в южную часть моря Беллинсгаузена

Погодные условия: вероятность сильных похолоданий

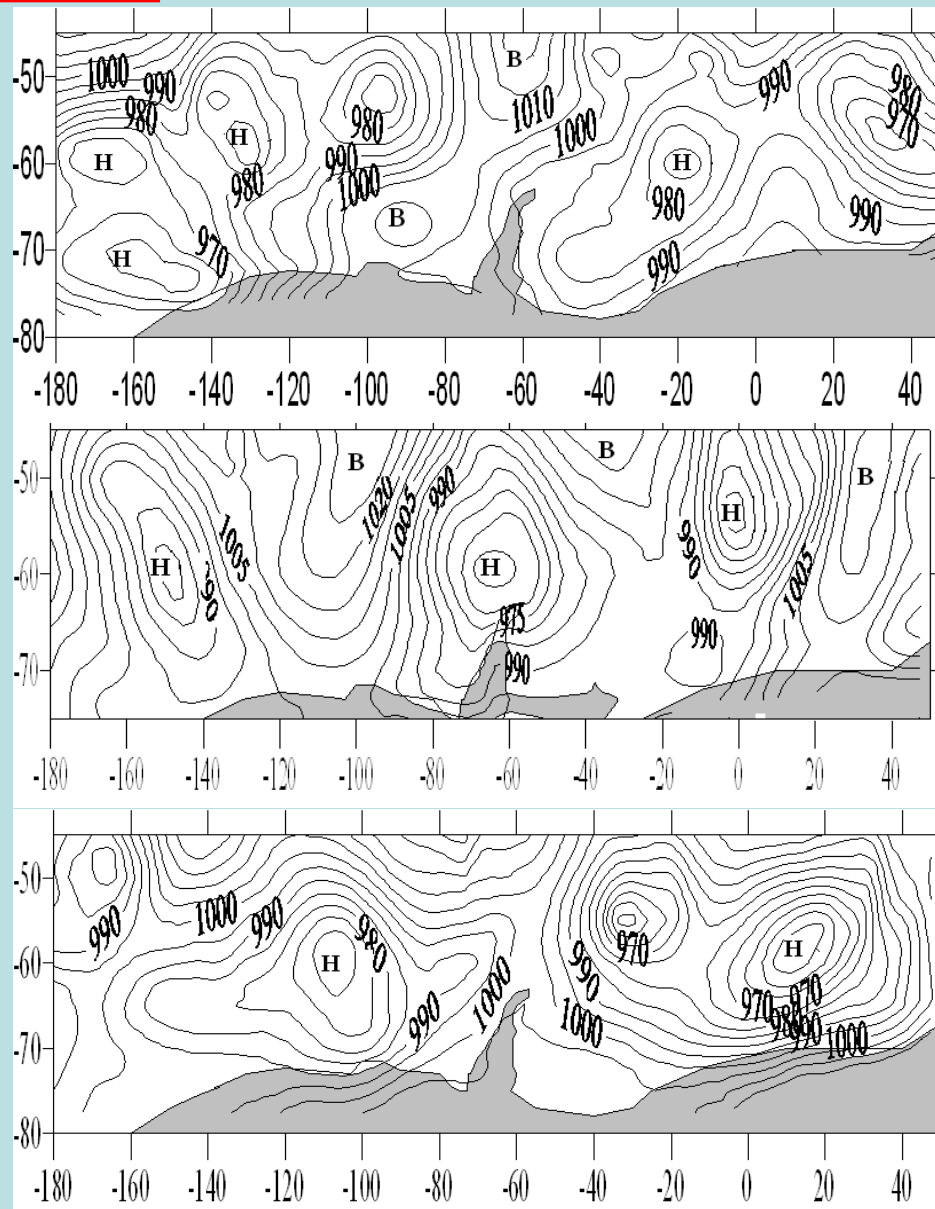
# Эталонные поля давления наименее вероятного класса, 1991–2000 гг. (обеспеченность менее 10%).

Степень меридионального преобразования еще больше, с формированием блокирующих эффектов, типично для западного сектора

**Погодные условия: значительная вероятность продолжит. похолоданий**

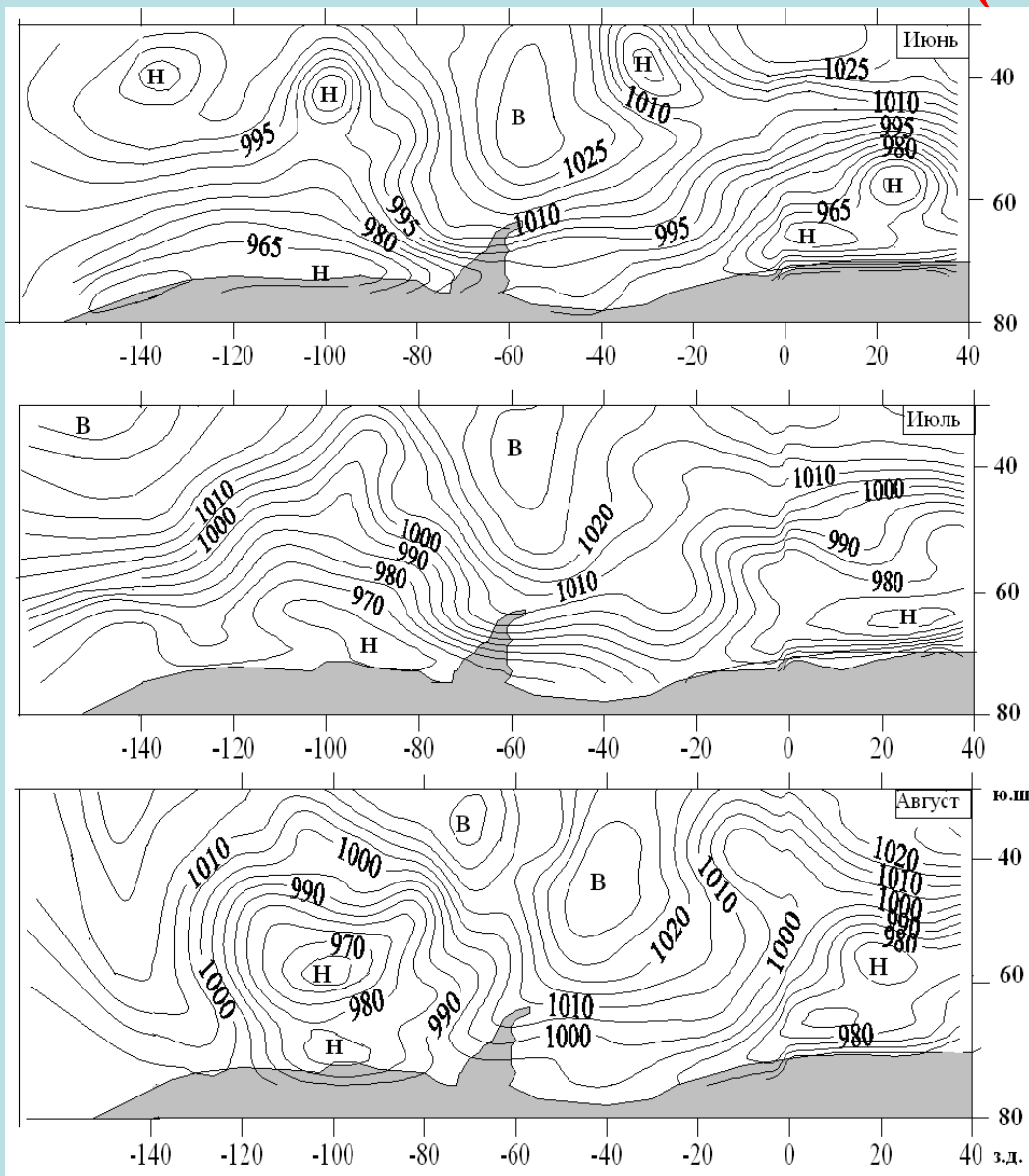


**Июль**



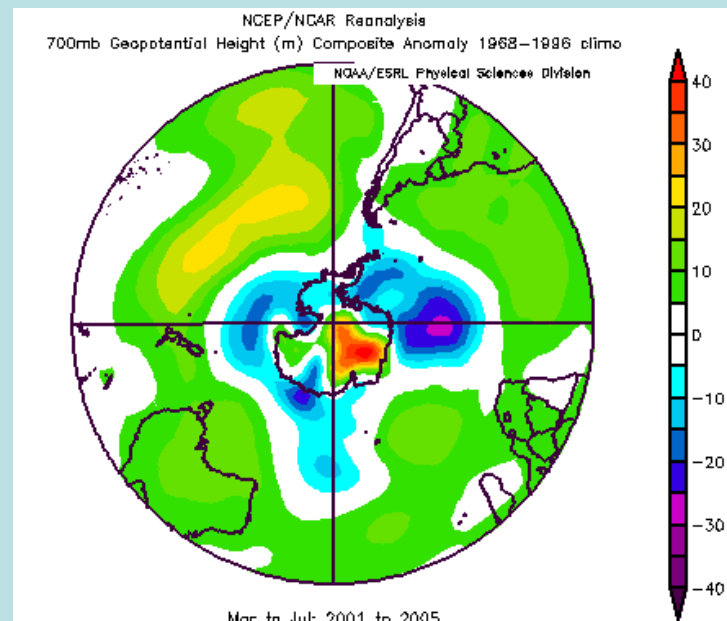
**август**

# Эталонные поля давления наиболее вероятного класса, 2001-05 гг.(зима)



Усиление влияния  
Тихоокеанского максимума  
на район Антарктического  
п-ова

Температура в пределах и  
выше нормы, уменьшение  
количества осадков.

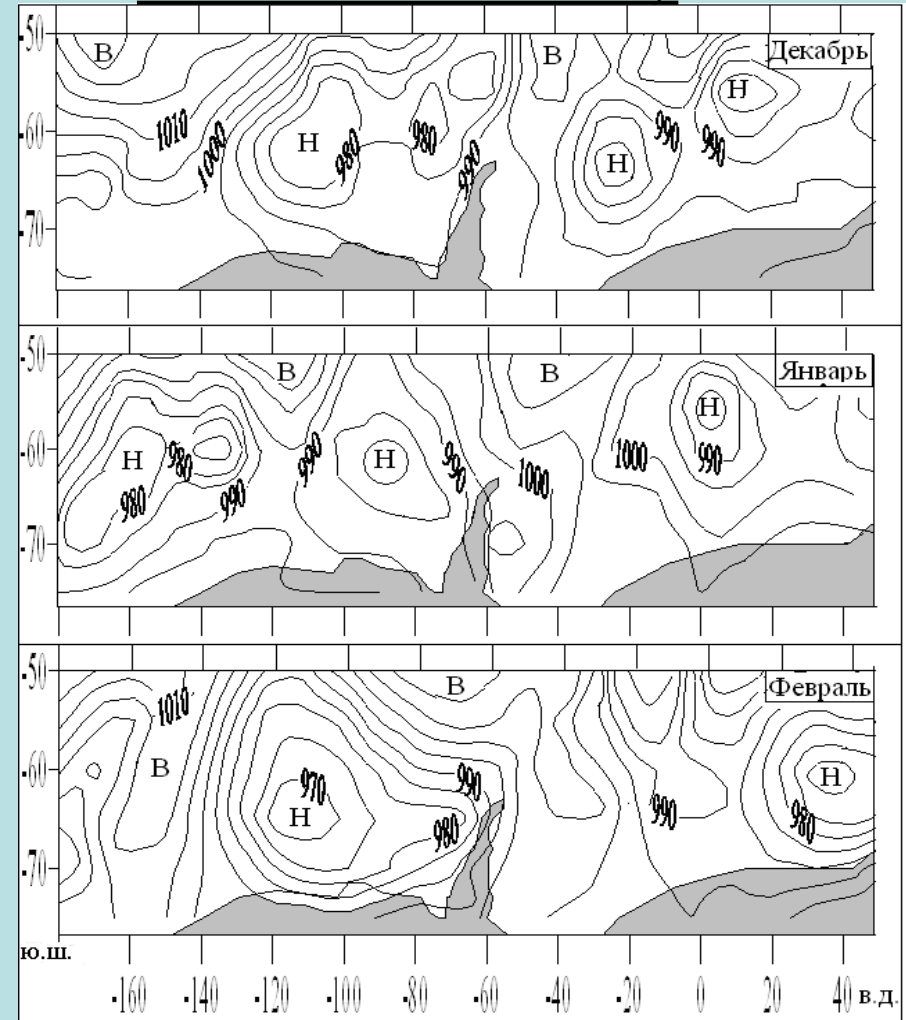
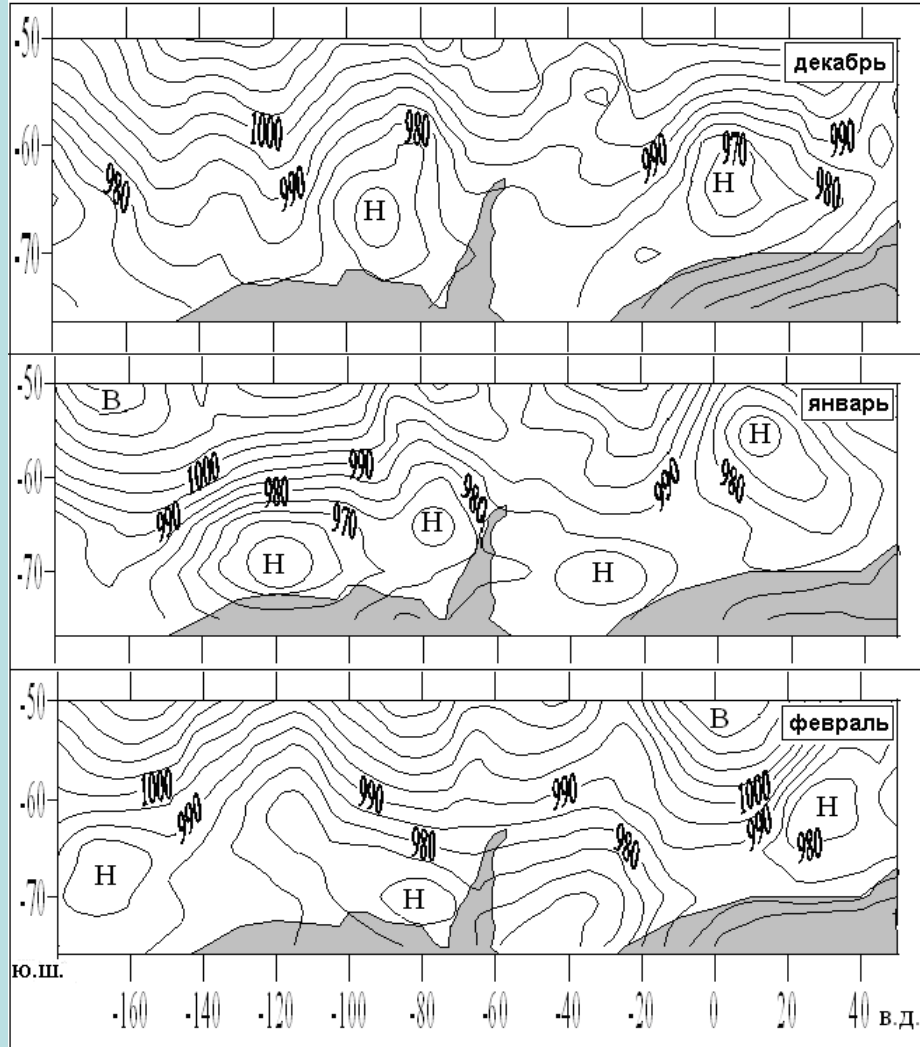




# ЛЕТНИЙ СЕЗОН: Эталонные поля давления наиболее вероятного класса, декабрь-февраль 1991-2000 гг.

наиболее вероятный класс-обеспеченность 78-93%).

второй класс вероятности  
обеспеченность менее 10%).



Локализация ЦДА: в основном подобна зимним месяцам,  
Меньшая степень меридионального преобразования, чем зимой

# Результаты классификации: статистическая обеспеченность полей

**1991-2000 гг.: В зимние месяцы: 3 класса вероятности, большее разнообразие процессов.**

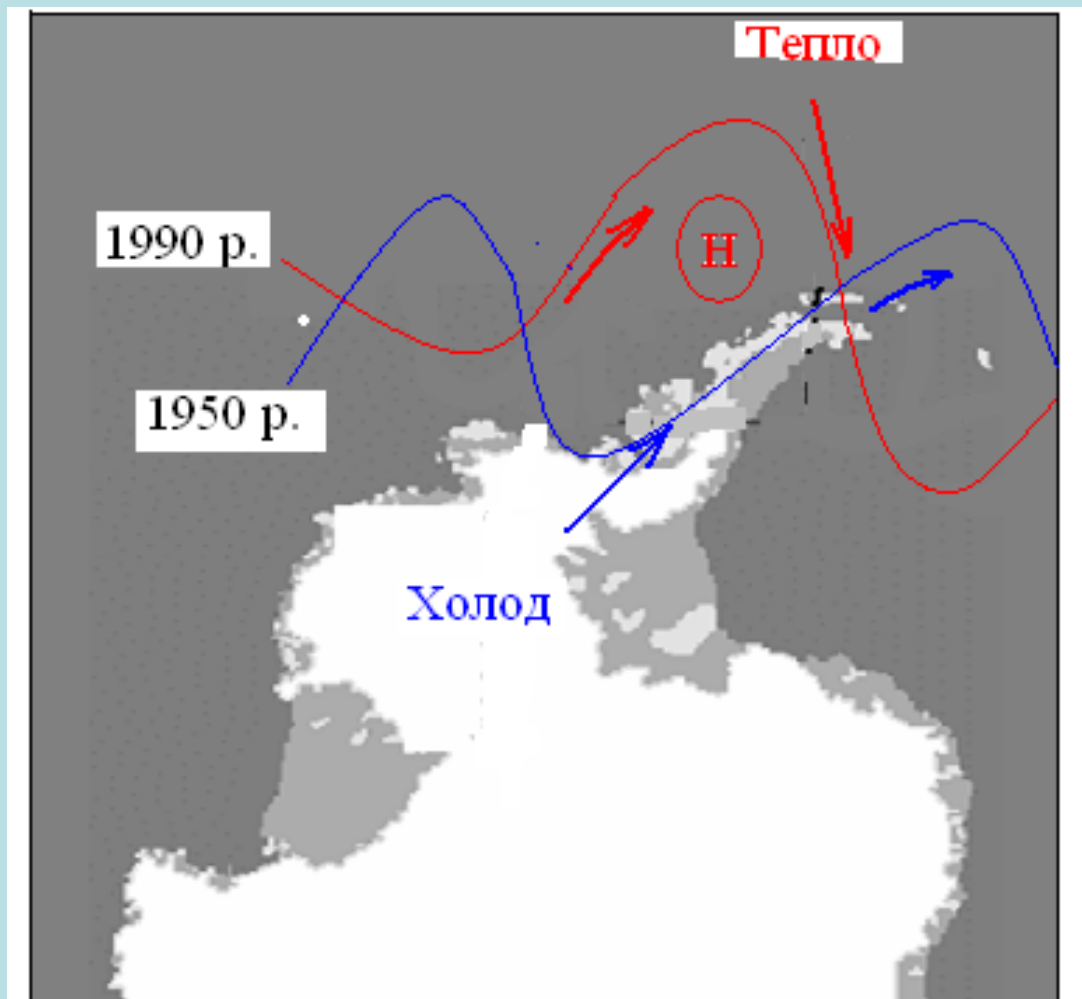
**В летние месяцы: 2 класса вероятности – в отдельные месяцы циркуляция может быть описана одним эталоном.**

## Статистическая обеспеченность:

- поля давления наибольшей вероятности – 63-72% зимой, 78-93% летом,
- поля давления второго класса вероятности - 15-25% зимой, менее 10% летом,  
поля давления наименее вероятного класса – менее 10% зимой, менее 5% летом.

# Изменение циркуляции между десятилетиями: схема

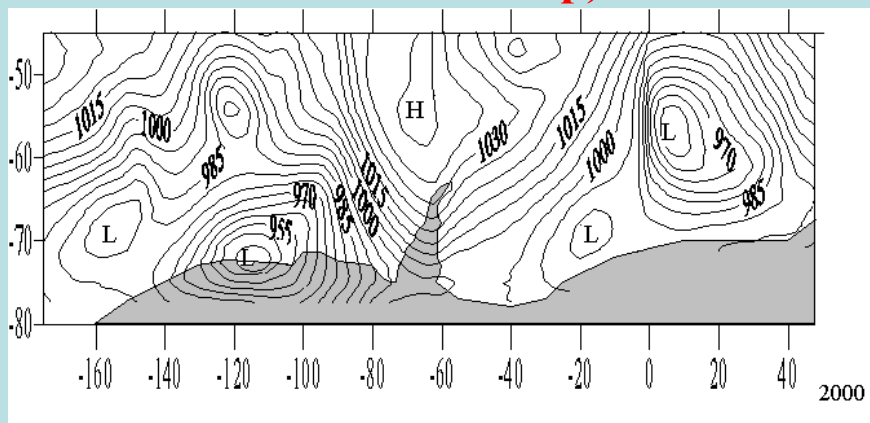
## Change of Sea Level circulation: schematic view



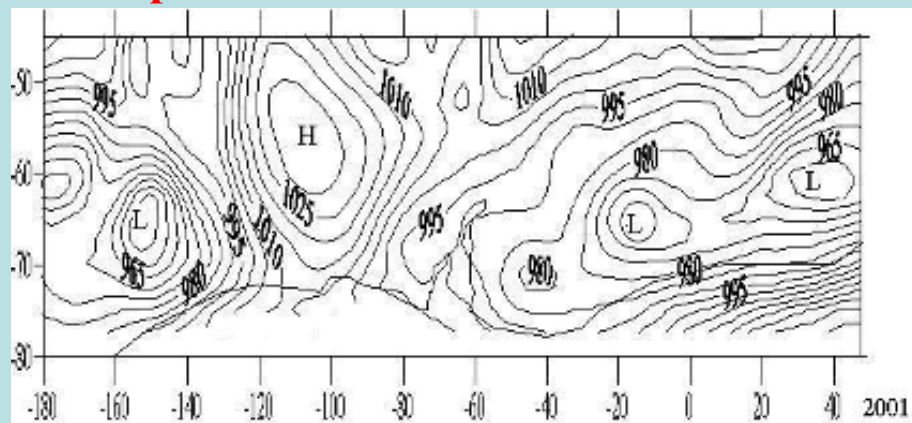
Сдвиг положения  
синоптической волны  
(ложбина над  
Антарктическим п-овом –  
Тепло,  
Гребень –Холод

# Применение классификации атмосферной циркуляции:

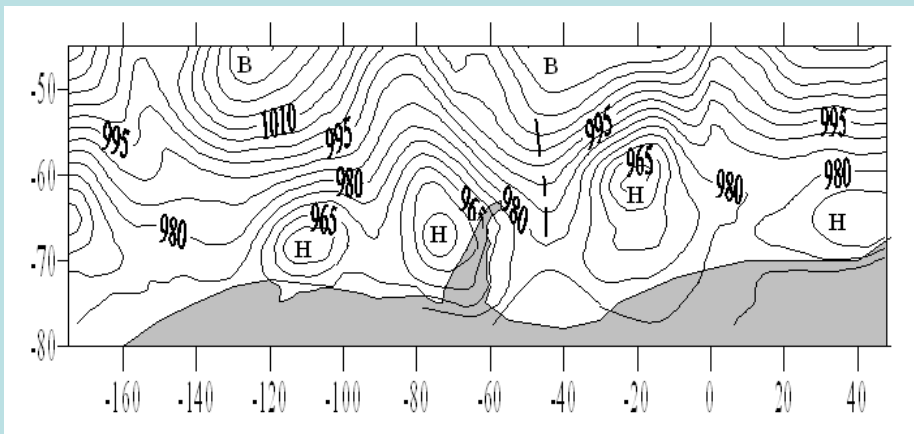
1) Месячный каталог полей, включая опасные явления (осадки, сильный ветер) = для составления прогноза погоды



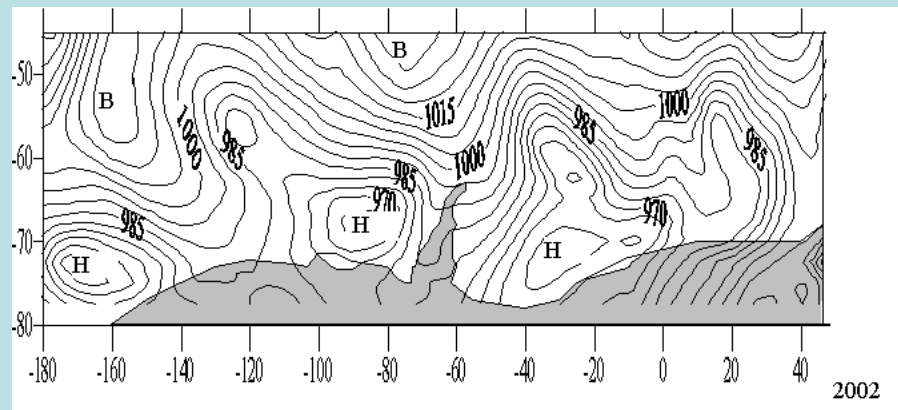
Июль 2000: СЗ поток, сильный ветер,



Июль 2001: значительная меридиональность,  
Кратковрем. и продолжительные похолодания



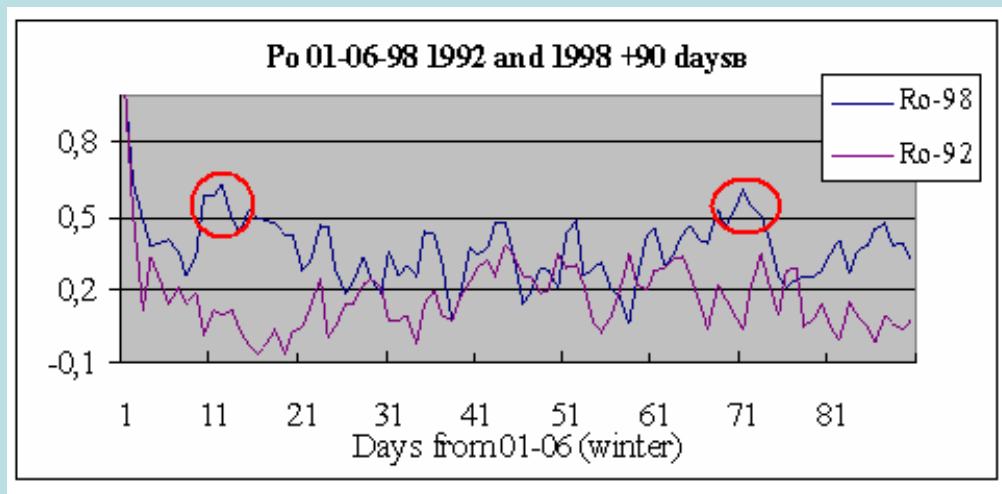
Июль 1998, температура выше нормы,  
Сильные осадки,  
развитие местных циркуляций



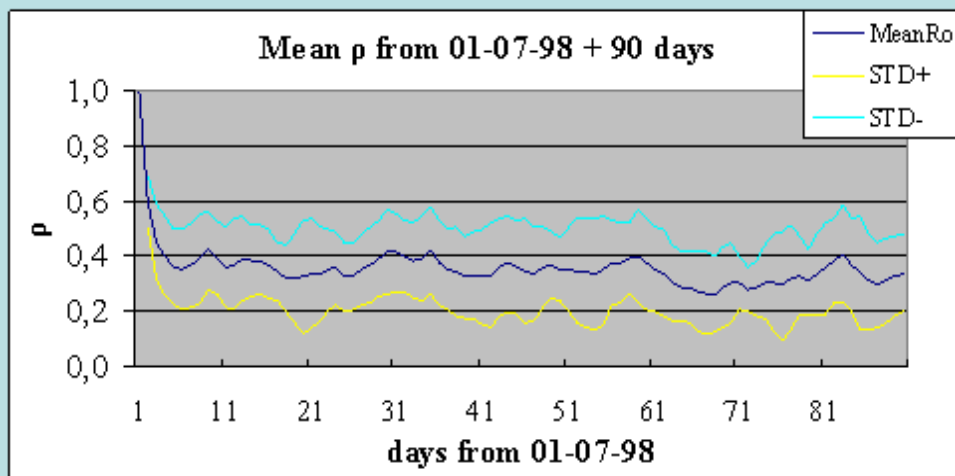
Июль 2002: Температура в целом выше нормы,  
Возможность кратковрем-х похолоданий

# Применение классификации атмосферной циркуляции:

## 2) выявление периодичностей в атмосферной циркуляции, выделение элементарного синоптического процесса

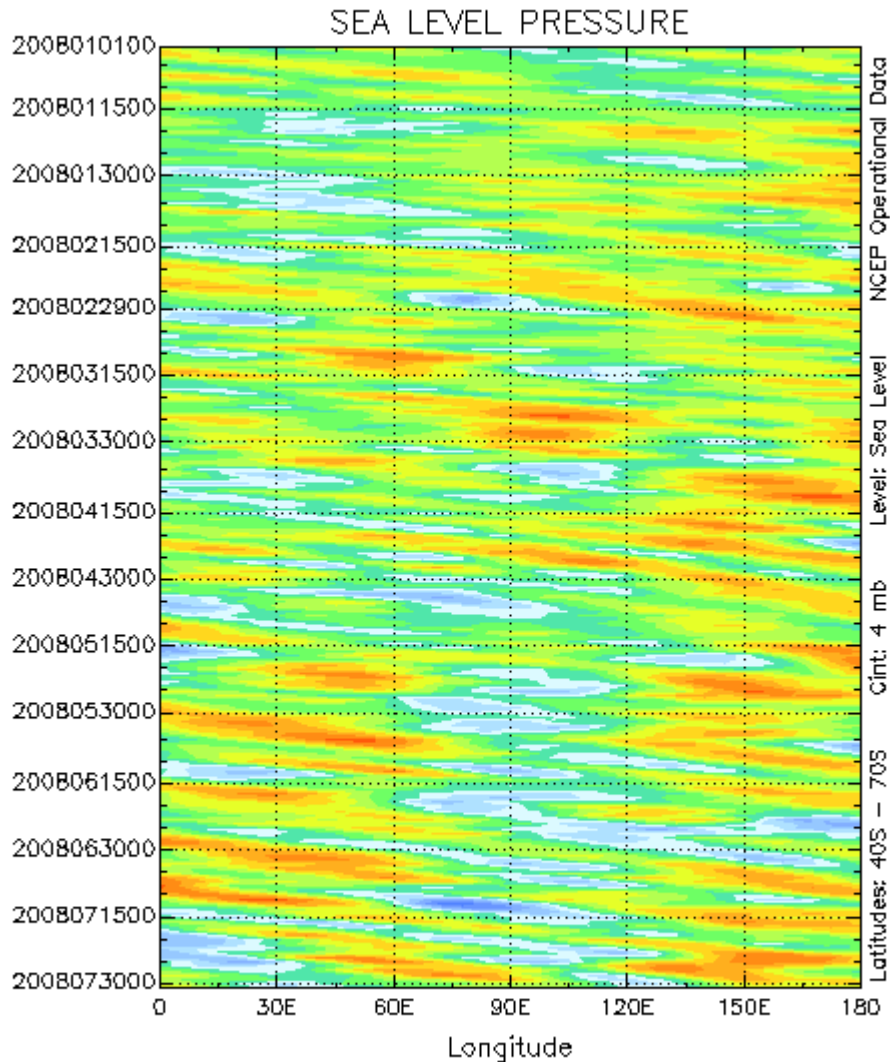


Автокорреляция полей давления по геометрическому критерию подобия, сезоны: теплый (1998) и холодный (1992) гг. (1ый день сезона с остальными)

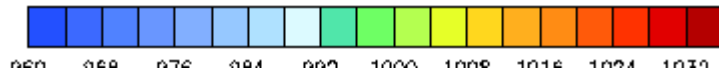


Автокорреляция полей давления, для первого дня зимы со сдвигом до +90 дней.

# Периодичность атмосферной циркуляции: Двухмесячная квазипериодичность



Проявляется при меридиональном  
осреднении полей давления или  
геопотенциала

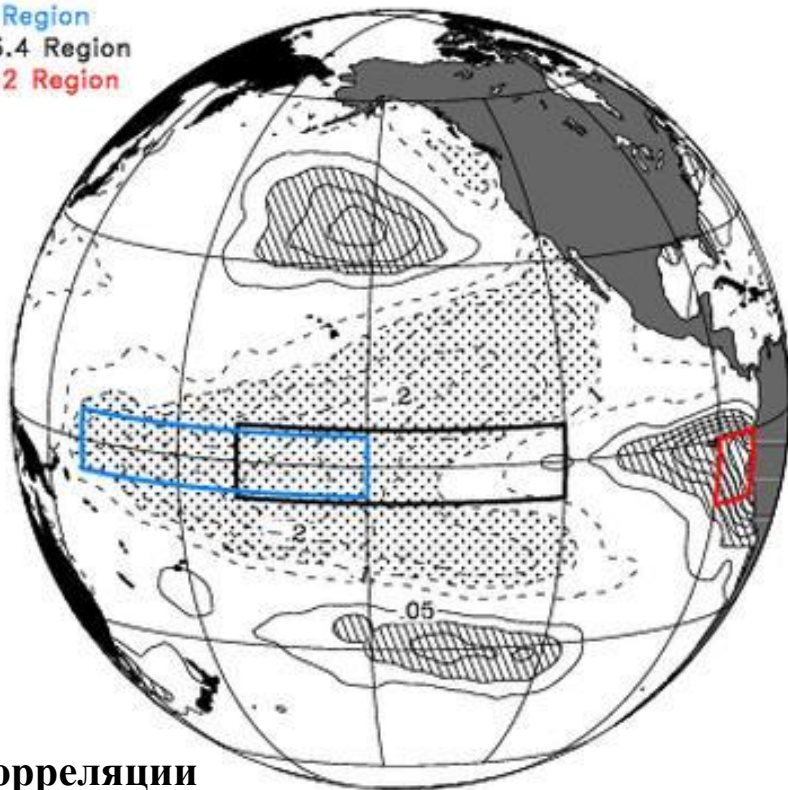


# ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ИЗМЕНЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА: ЭЛЬ-НИНЬО-ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ

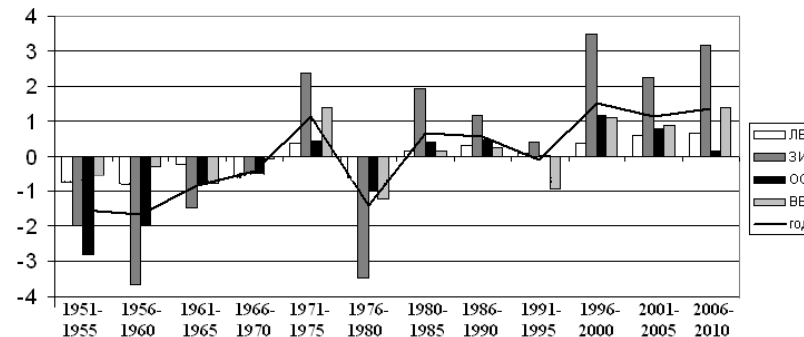
Regression (1900–1976)

SST and TNI

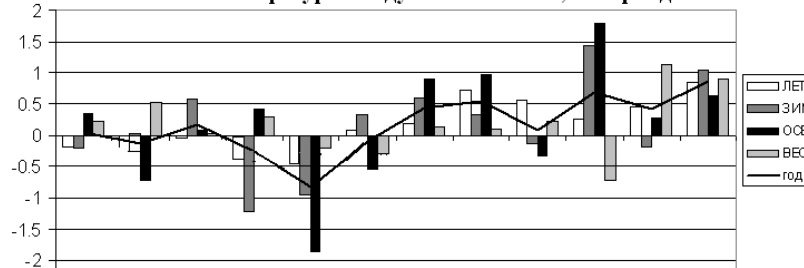
Blue = Niño 4 Region  
Black = Niño 3.4 Region  
Red = Niño 1+2 Region



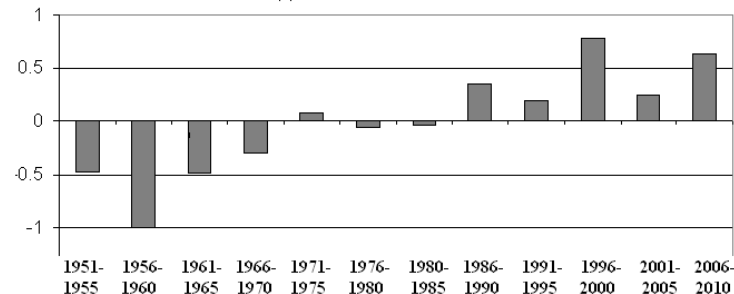
°C Аномалия температуры воздуха по 5летиям, ст. Вернадский



°C Аномалия температуры воздуха по 5летиям, ст. Оркадас



гПа Индекс Эль-Ниньо 1-2



Коэфф-т корреляции

Индекс/ Станция	SOI_1-2	Nina4	MEI	Nina3. 4
Вернадский	<b>0.49*</b>	0.23	-0.21	-0.12
Оркадас	0.35	0.12	-0.22	-0.15

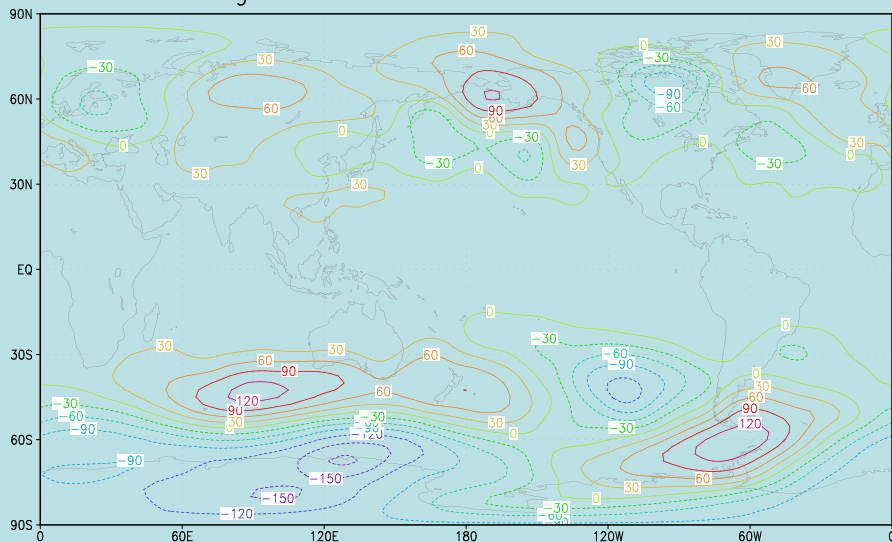
# Формирование сезонных аномалий: связь с различными фазами явления Эль-Ниньо-Южное Колебание

Аномально холодные зимы на Антарктическом полуострове сопровождаются положительными аномалиями давления (т.е. усиленным антициклогенезом) в юго-восточном секторе Тихого океана (пример для 1987 г., АТ-500 гПа)

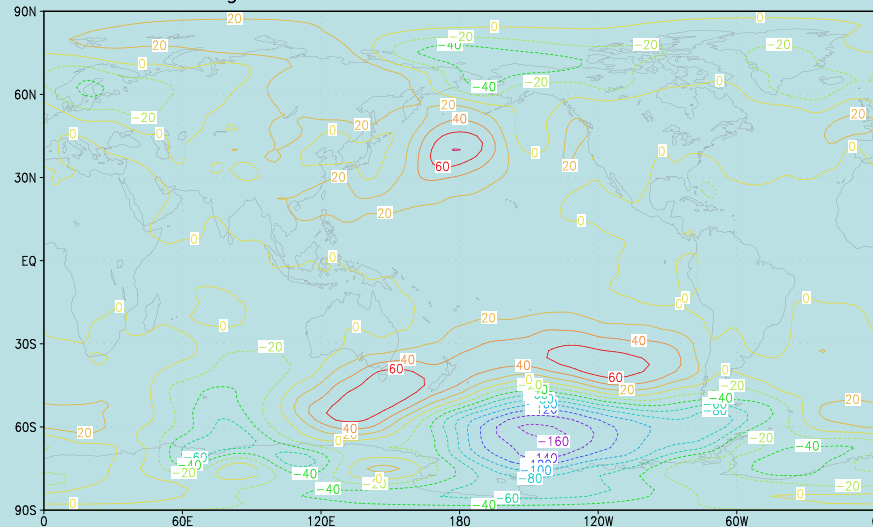
Теплые зимы в районе Антарктического полуострова формируются на фоне отрицательных аномалий давления в ЮПО и положительных – в тропиках.

(Рис. для зимних месяцев 1998 г.).

aug1987 z anom from 19581986 500



aug1998 z anom from 19751998 1000





# Выводы /CONCLUSIONS/

- Потепление в районе Антарктического п-ова: согласованность временным рамкам глобальных изменений.
- Атмосферная циркуляция: объясняет причину регионального потепления. Во многом обусловлена Эль-Ниньо.
- При помощи классификации полей давления по классам вероятности показано изменение атмосферной циркуляции на масштабе десятилетий. Найдено существенное отличие наиболее вероятных полей давления зимних сезонов десятилетий с различным температурным режимом. В течение зимнего сезона наблюдается большее разнообразие процессов.
- Создан каталог полей давления классам вероятности. Применение: для диагноза и прогноза погоды в районе Антарктического полуострова, выявления периодичностей в атмосферной циркуляции, а также разработки методов прогноза погоды.
- Синоптические процессы наиболее теплого десятилетия 1991-2000 гг. характеризуются преобладанием циклоничности в море Беллинсгаузена, обеспечивая адвекцию теплого и влажного воздуха в район исследования, что обусловило приземное потепление на станциях Антарктического п-ова.
- В последние годы (2001-2007 гг.) усилился антициклогенез в юго-восточной части Тихого океана, обеспечивший поступление более холодных воздушных масс к Земле Грейама, с чем связывается стабилизация возрастания температуры воздуха на станциях района.

# Монография

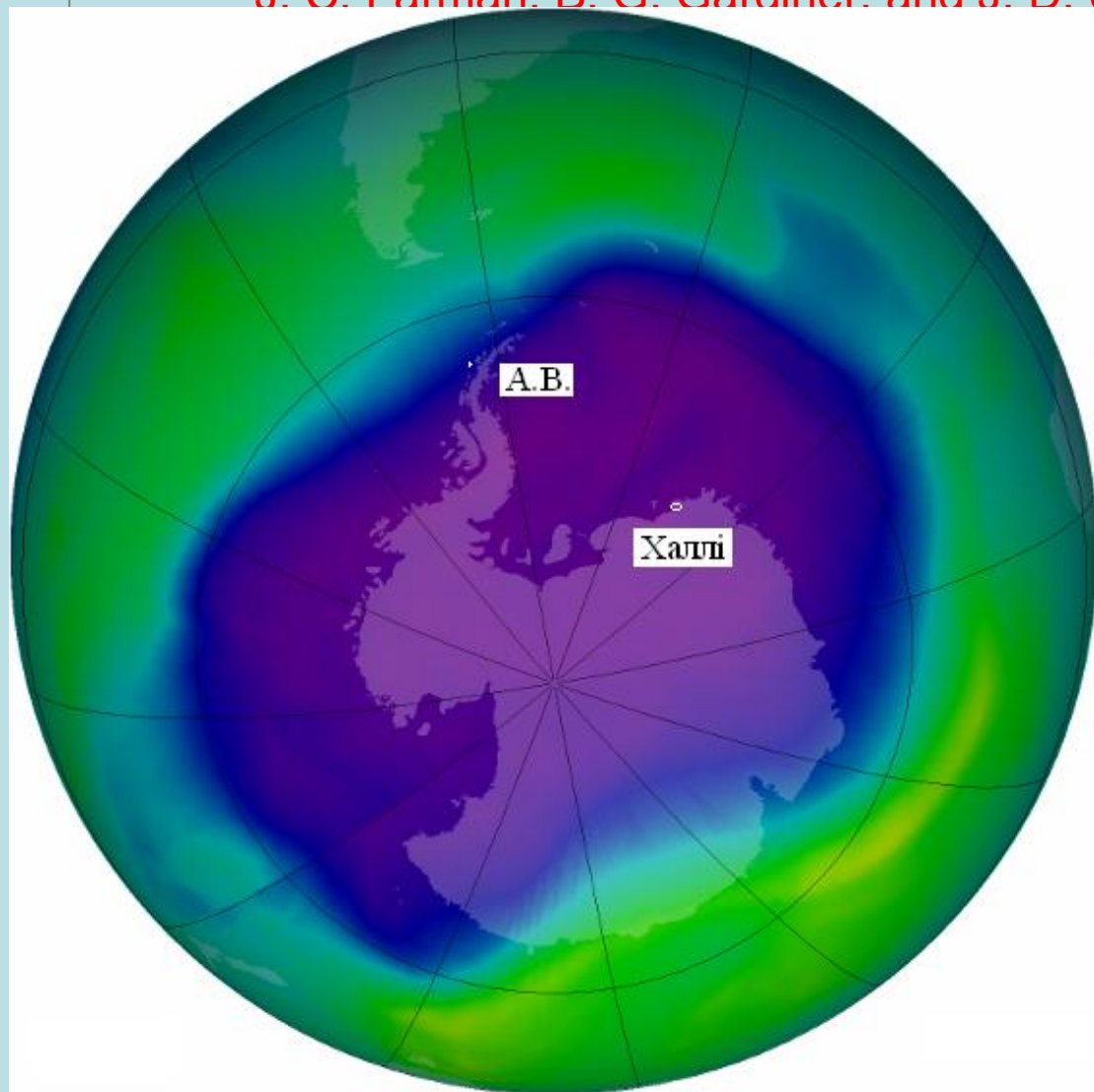
В.Ф.Мартазинова, В.Е.Тимофеев, Е.К. Иванова

## ‘Атмосферная циркуляция Южной полярной области и климат Антарктического полуострова’, 2010

- **1. ХАРАКТЕР СОВРЕМЕННОГО РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА И СТАНЦИИ АКАДЕМИК ВЕРНАДСКИЙ.** 1.1 Региональные особенности атмосферной циркуляции в районе Антарктического п-ова.1.2. Траектории циклонов в районе Антарктического п-ова.1.3 Местные циркуляции в районе станции Академик Вернадский.1.4. Характер климатических условий Антарктического п-ова и станции Академик Вернадский. Изменчивость температуры воздуха, Атмосферные осадков, Режим приземного ветра
- **2. КРУПНОМАСШТАБНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ.** Преобразование полей атмосферного давления от десятилетия к десятилетию в 1961–2000 гг. и 2001-2007. Особенности пространственно-временной структуры полей давления на среднем уровне тропосферы.
- **3. КЛАССИФИКАЦИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В ЮЖНОМ ПОЛУШАРИИ.** Эталоны наиболее вероятных классов синоптических процессов отдельных десятилетий 1961–2000 гг. и периода 2001–2007 гг.
- **4. КАТАЛОГ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ПОХОЛОДАНИЮ И ПОТЕПЛЕНИЮ В РАЙОНЕ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПОЛУОСТРОВА В ТЕЧЕНИЕ ЗИМНЕГО СЕЗОНА 1991–2000 ГГ**
- 
- **5. ВОЗМОЖНОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НАД АНТАРКТИЧЕСКИМ ПОЛУОСТРОВОМ**

# ‘Озоновая дыра’: открытие по данным ст. Халли и Аржентайн-Айлендс (Фарадей)

J. C. Farman, B. G. Gardiner, and J. D. Shanklin (*Nature*, 1985)



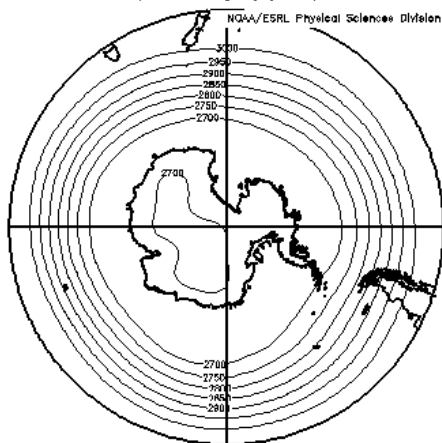
Важность Ст. Вернадский:  
положение у границы “дыры”,  
Показывает степень ее  
распространения на север и  
скорость перемещения

максимум озоновой дыры по площади, 24-09-2006 г.

27,45 млн кв. км.

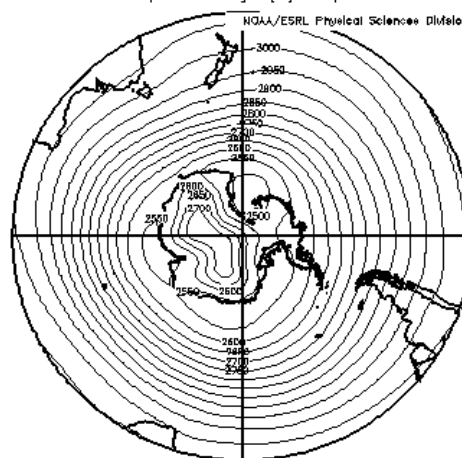
# Выраженные тропосферно-стратосферные связи

NCEP/NCAR Reanalysis  
700mb Geopotential Height (m) Composite Mean



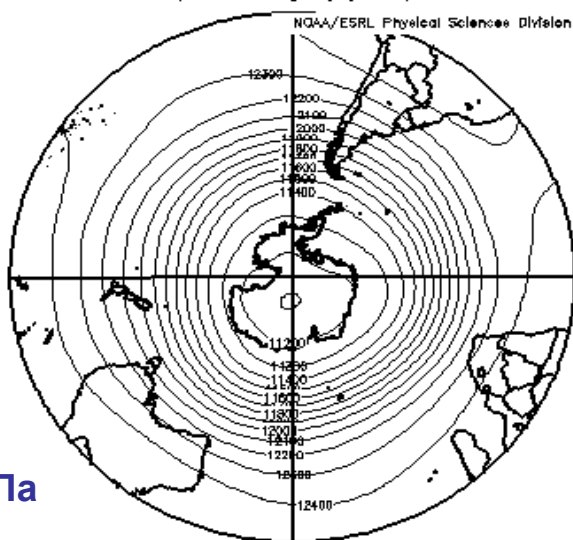
Dec to Feb: 1991 to 2000

NCEP/NCAR Reanalysis  
700mb Geopotential Height (m) Composite Mean



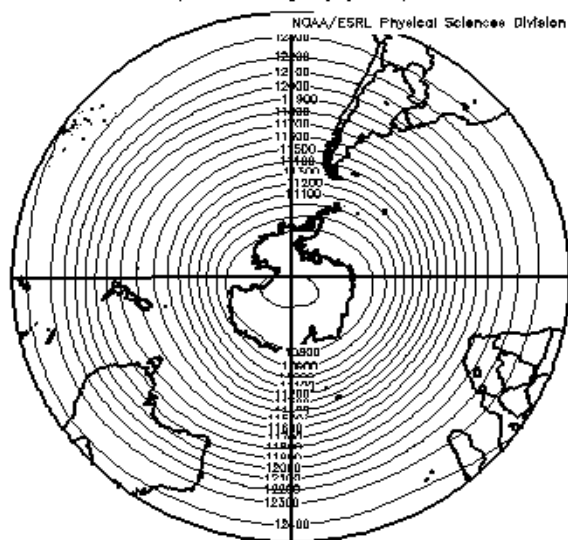
Jun to Aug: 1991 to 2000

NCEP/NCAR Reanalysis  
200mb Geopotential Height (m) Composite Mean



Jan to Feb: 1991 to 2000

NCEP/NCAR Reanalysis  
200mb Geopotential Height (m) Composite Mean



Jun to Aug: 1991 to 2000

Циркумполярность движений проявляется с нижних уровней, только в море Росса имеется отдельный центр (АТ-700 гПа), лучше выраженный зимой

700 гПа

200 гПа

# Общая оценка состояния климатической системы (Антарктика)

- **Изменение климата** = потепление в краевых областях Антарктики,
- **Морской лед, ледники** = уменьшение площадей, поверхностная абляция (в краевых зонах),
- **Океанская циркуляция** = Эль-Ниньо (преобладает теплая фаза во второй половине XXст.
- **Атмосферная циркуляция** = усиление зональной составляющей,
- **Озоновая дыра** = на фоне усиления зональной циркуляции, стабилизация с конца 1990х,
- **Биоресурсы** = значительные межгодовые изменения, в зависимости от аномалий атмосферной циркуляции и морского льда



*Thank you very much!*