

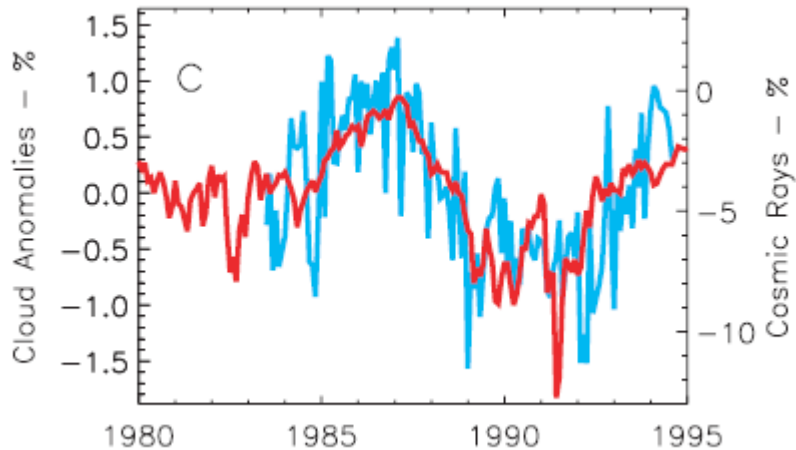
* **О возможных причинах
нарушения корреляционных связей
между состоянием облачности
и потоками галактических
космических лучей**

Веретененко С.В., Огурцов М.Г.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

С.-Петербург, Россия

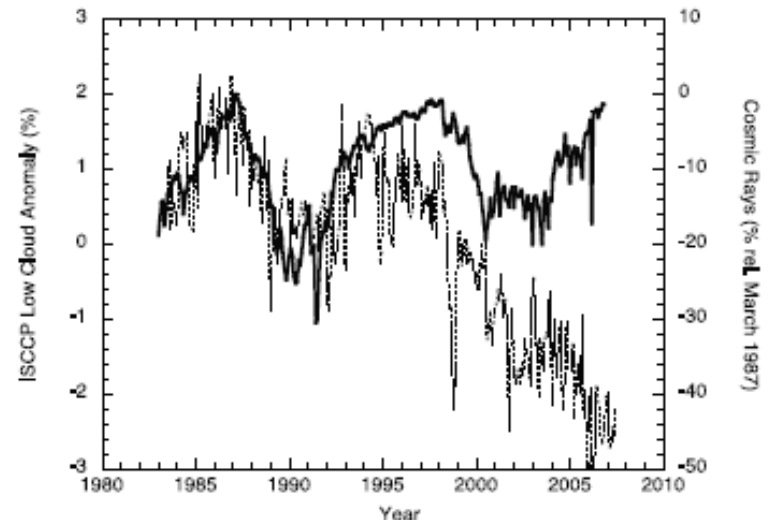
* Аномалии нижней облачности и вариации интенсивности ГКЛ



Marsh and Svensmark, *Phys.Rev.Lett.*, 2000

Коэффициент корреляции между усредненными по земному шару аномалиями нижней облачности (LCA) и скоростью счета НМ (Уанкайо):
 $r=0,63$ и $r=0,92$ для скользящих средних по 12-ти месяцам (по данным ISCCP-D2 за 1983-1994).

Нарушение корреляции между LCA и КЛ после 2000 г.



Gray et al., *Solar influences on climate, Rev. Geophys.*, 2010

Цель данной работы :

- Исследовать, **чем обусловлены корреляционные связи между состоянием облачности и интенсивностью космических лучей (LCA-GCR)**
- Рассмотреть **возможные причины нарушения корреляции LCA-GCR после 2000 г.**

* 1. Формирование поля
облачности в умеренных
широтах:
связь с динамикой
атмосферы

* Образование и классификация облачности

Основная причина образования облаков - перенос водяного пара по вертикали и его охлаждение
Т.е., определяющую роль в формировании поля облачности играют **вертикальные движения воздуха**

Классификация облаков с учетом нижней границы облачности:

Облака верхнего яруса, нижняя граница **выше 6 км**:

перистые (Ci), перисто-кучевые (Cc), перисто-слоистые (Cs)

Облака среднего яруса, нижняя граница в пределах **2-6 км**:

высококучевые (Ac), высокослоистые (As)

Облака нижнего яруса, нижняя граница **ниже 2 км**:

слоисто-кучевые (Sc), слоистые (St), слоисто-дождевые (Ns)

Облака вертикального развития :

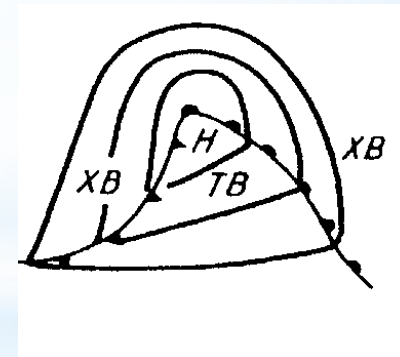
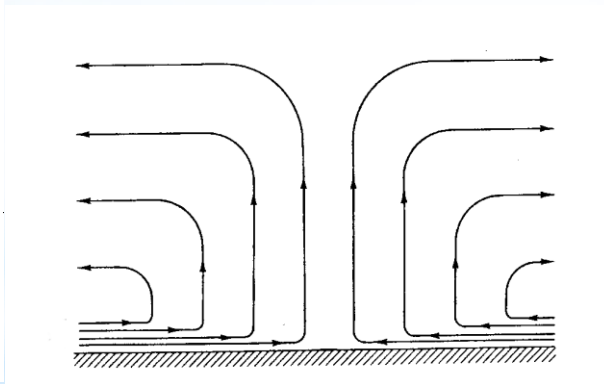
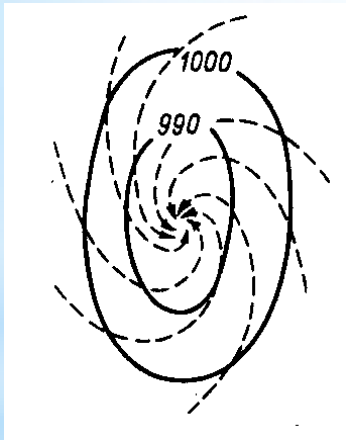
кучевые (Cu), кучево-дождевые (Cb)

* Формирование облачности в умеренных широтах

Макромасштабные вертикальные движения (горизонтальный размер от нескольких сотен до нескольких тысяч километров) связаны с **барическими системами** (синоптическими вихрями):

- циклоны и ложбины (восходящие движения),
- антициклоны и гребни (нисходящие движения).

Вертикальные движения во внетропическом фронтальном циклоне



- *восходящие движения в центре циклона, обусловленные сходимостью (конвергенцией) воздушных течений у поверхности Земли*

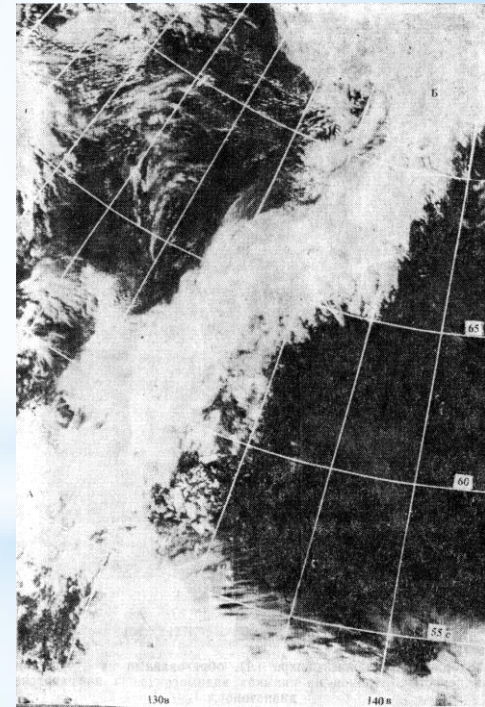
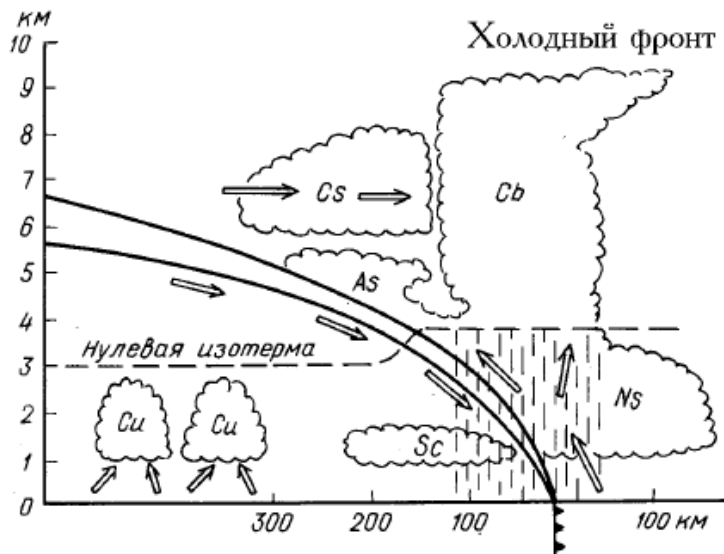
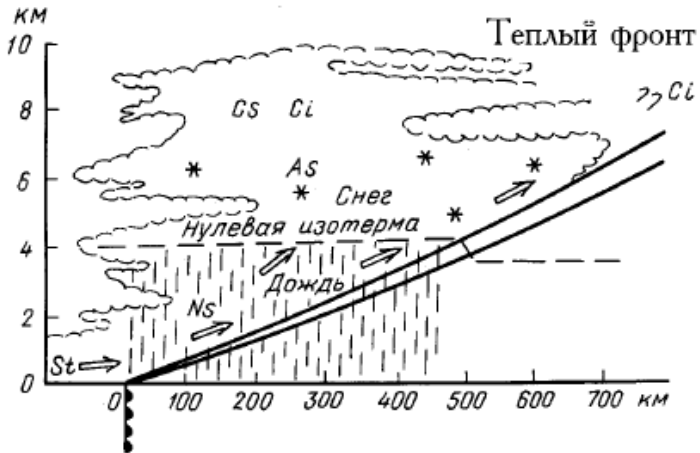
- *упорядоченные восходящие движения на фронтах циклона*

* Фронтальная облачность

Упорядоченные восходящие движения воздуха вдоль фронтальной поверхности приводят к образованию мощных систем **слоистообразной облачности Ns-As-Cs.**

Преобладающие типы облаков

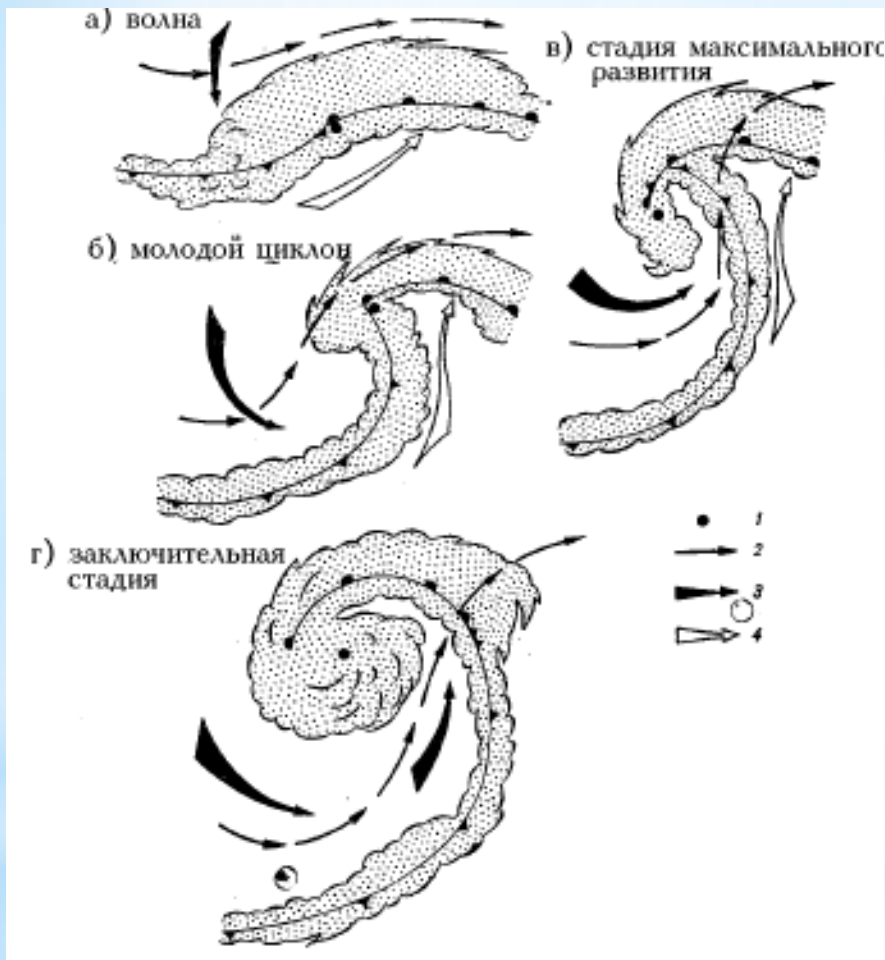
- **Теплый фронт:** перисто-слоистые (Cs) высокослоистые (As) слоисто-дождевые (Ns) облака), из которых выпадают обложные осадки.
- **Холодный фронт:** кучево-дождевые облака (Cb) с ливневыми осадками и грозами.



Облачность теплого и холодного фронтов (Хромов и Петросьянц, Метеорология и климатология, 1994)

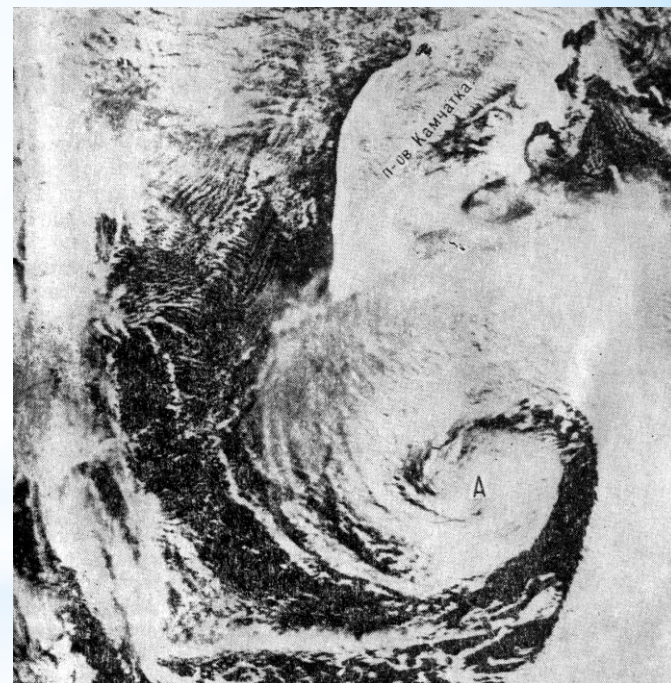
Облачная система холодного фронта (Воробьев, Синоптическая метеорология, 1991)

* Облачность внутритропического циклона



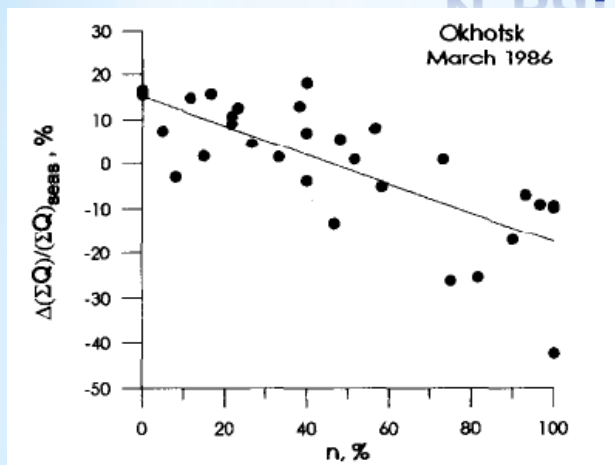
Облачная система внутритропического циклона на разных стадиях развития (Воробьев, Синоптическая метеорология, 1991).

- Фронтальная облачность на всех стадиях развития циклона
- Облачность восходящих движений в центре циклона



Внетропический облачный вихрь в северном полушарии, А - центр вихря (Воробьев, 1991).

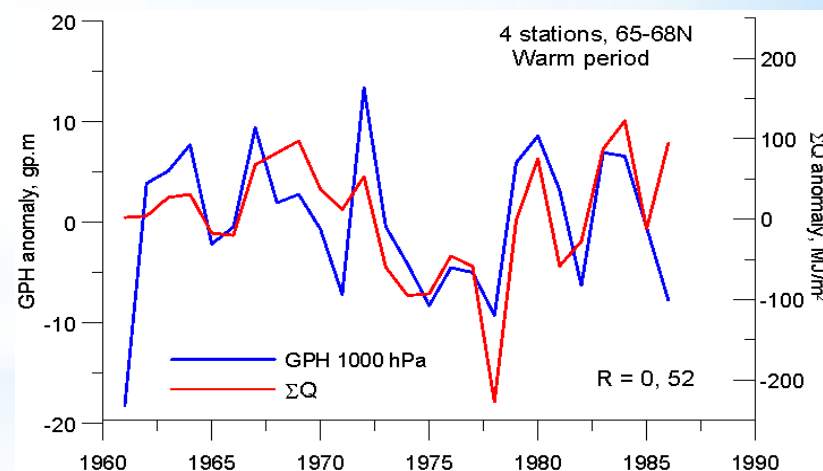
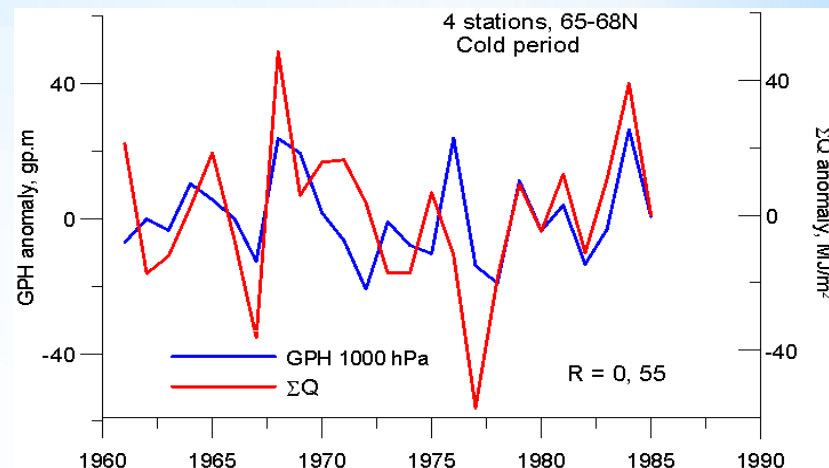
* Приход суммарной радиации и вариации давления



Суммарная (прямая + рассеянная) радиация уменьшается при увеличении облачности

Потоки суммарной радиации обнаруживают **положительную корреляцию** с вариациями **давления**:

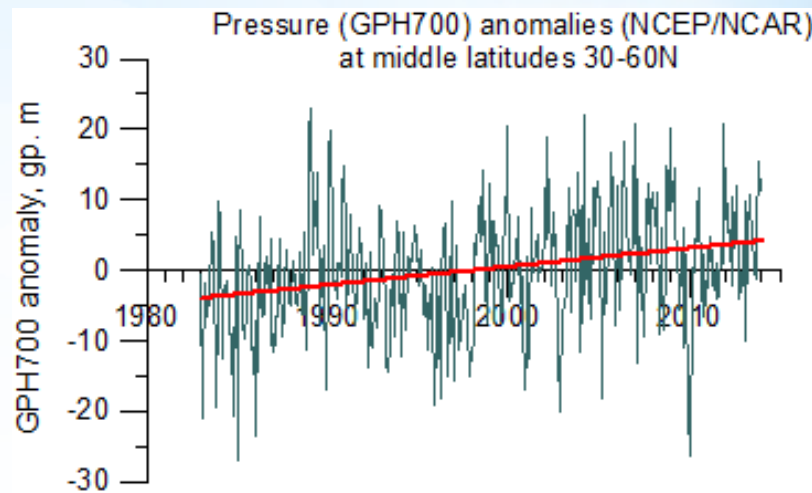
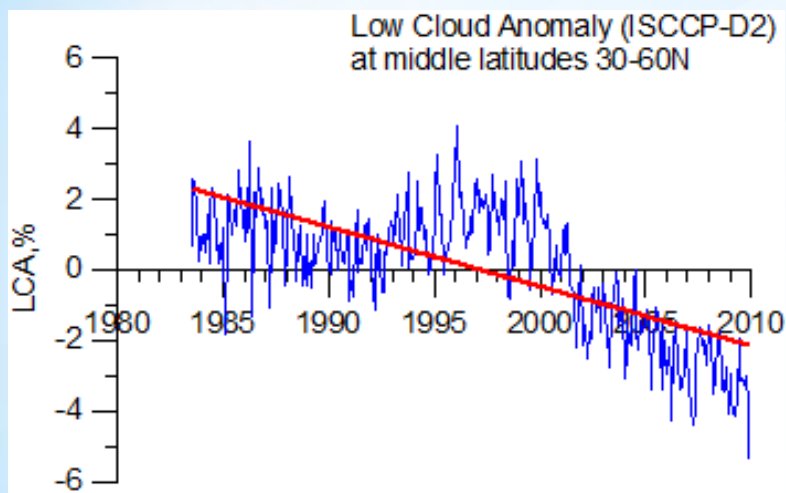
уменьшение числа циклонов → рост давления → увеличение приходящей радиации.



Вариации прихода суммарной радиации (красная линия) и давления (синяя линия) на станциях в области широт 65-68N

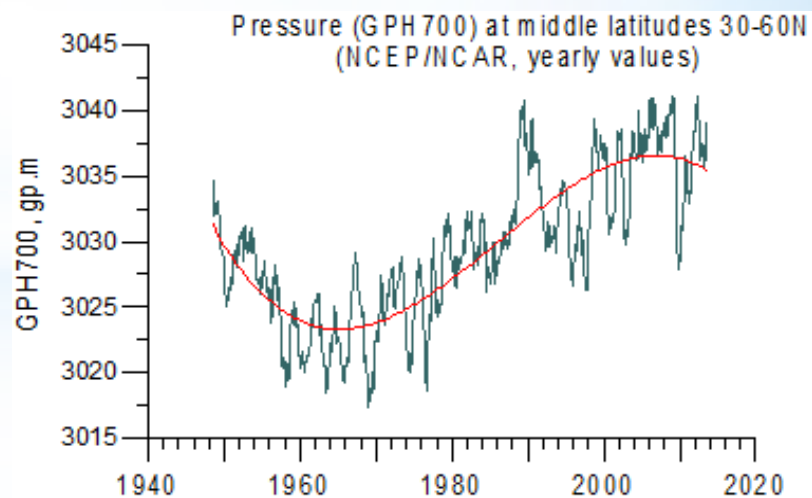
* 2. Изменения облачности
по данным ISCCP
и динамические процессы
в атмосфере

* Аномалии нижней облачности и давления в умеренных широтах: тренды

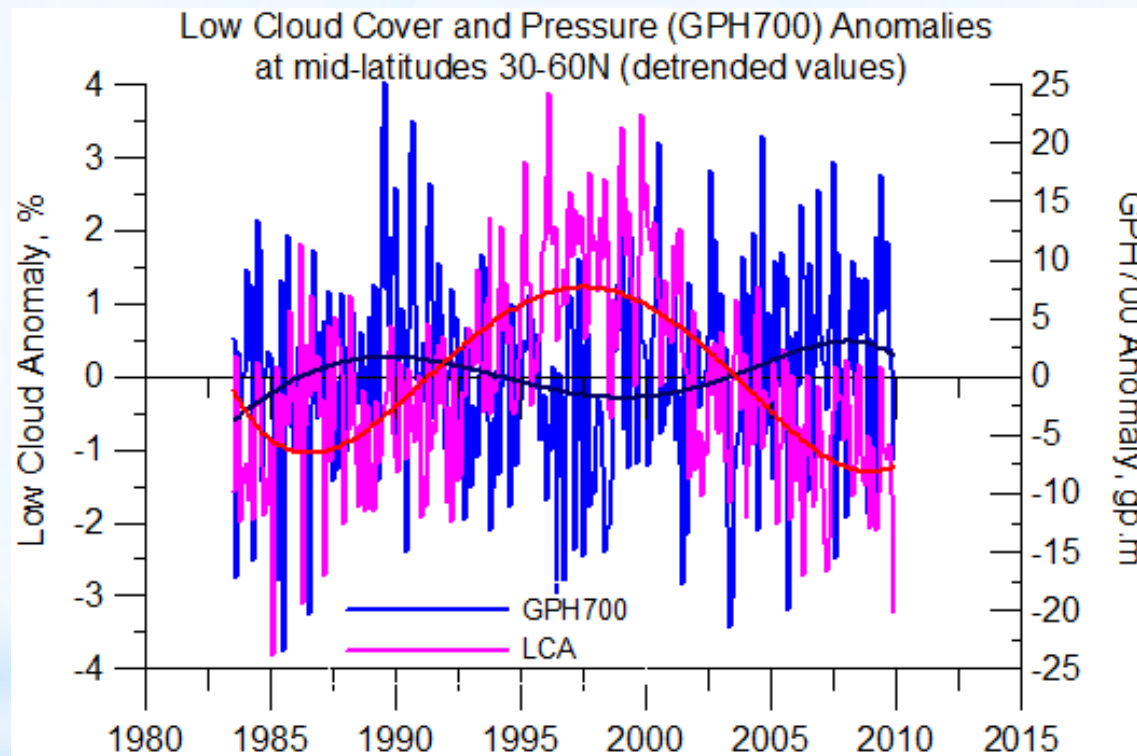


Рост давления в умеренных широтах (ослабление циклонической деятельности) наблюдается с начала 1970-х гг. по ~2010 г.

Долговременные изменения (тренды) аномалий нижней облачности (LCA) и давления (GPH700) **имеют противоположный характер: давление растет** (число циклонов уменьшается), **нижняя облачность уменьшается.**



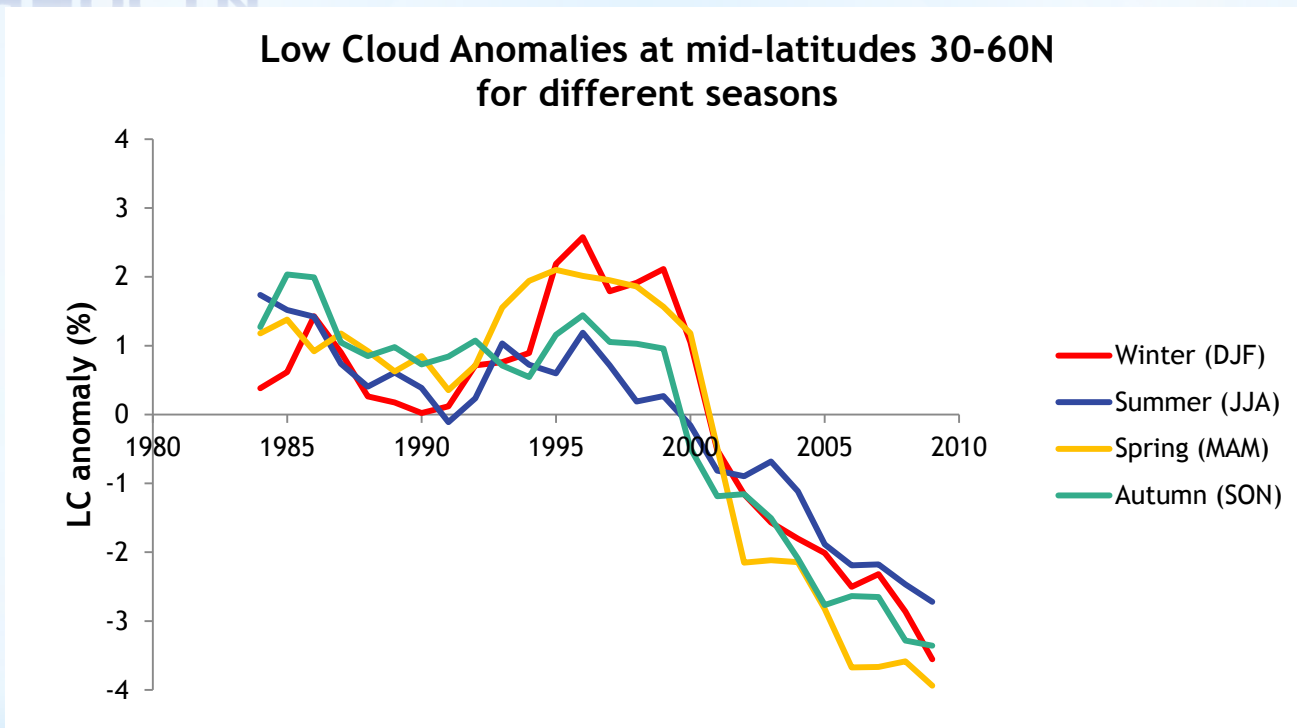
* Аномалии нижней облачности и давления в умеренных широтах: отклонения от трендов



Аномалии давления и нижней облачности (как тренды, так и отклонения от трендов) изменяются в противофазе.

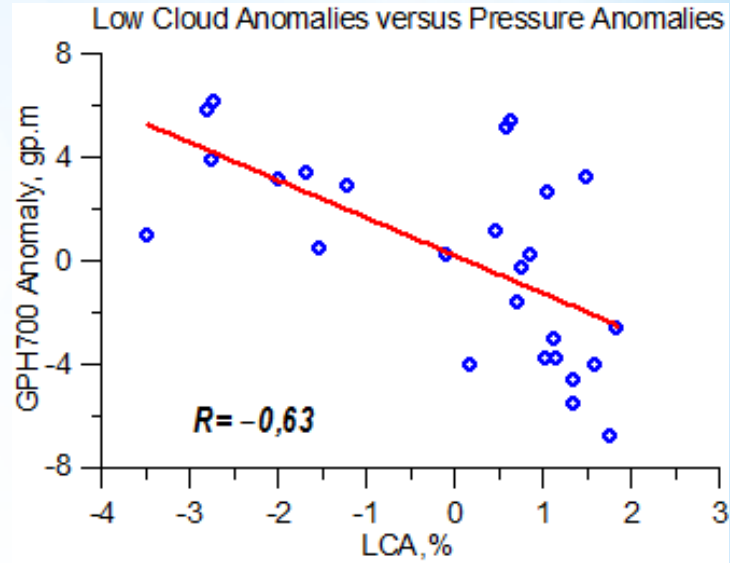
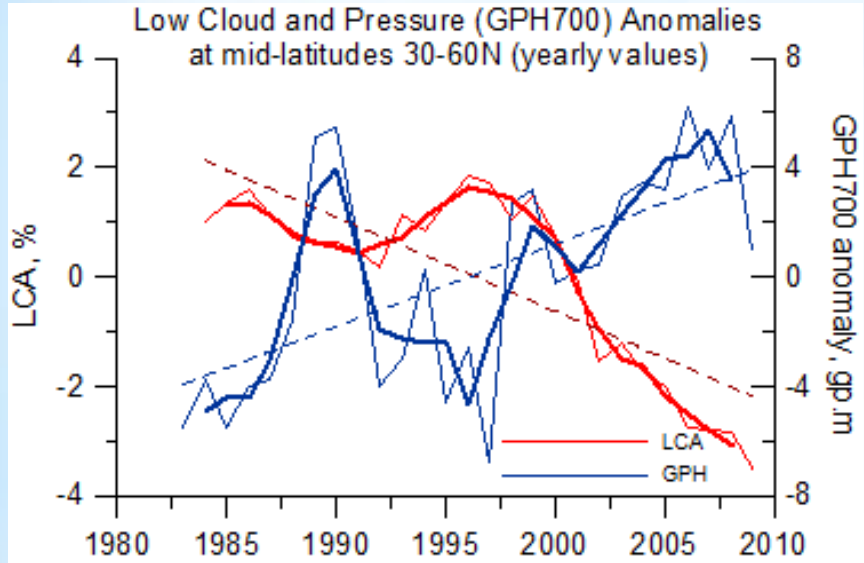
Это указывает на тесную связь между состоянием облачности и динамикой атмосферы.

* Сезонные вариации аномалий нижней облачности



Аномалии нижней облачности имеют наибольшую амплитуду в холодный период, когда внетропический циклогенез наиболее интенсивен.

* Временной ход аномалий нижней облачности и давления в умеренных широтах: среднегодовые значения

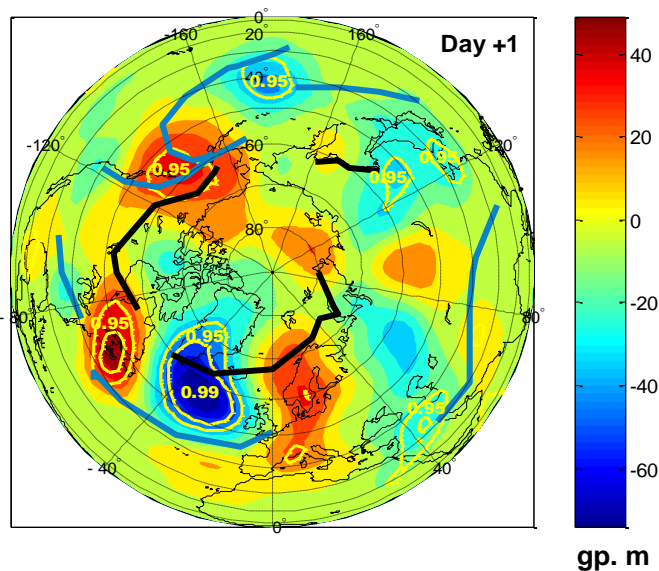


Отрицательная корреляция между аномалиями **нижней облачности** и **давления** в тропосфере ($R = -0,63$ для несглаженных значений и $R_{sm} = -0,8$ для скользящих средних по 3-летним интервалам):



* 3. Влияние космических лучей
на развитие внетропических
барических систем

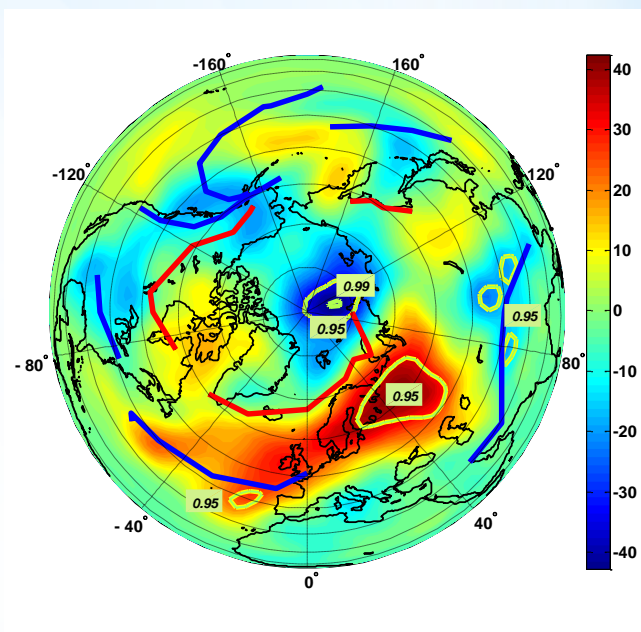
* Эффекты КЛ в эволюции внетропических барических систем: короткопериодная шкала



Всплески СКЛ(энергии частиц $E > 90$ МэВ):

Интенсификация циклонов на Арктических фронтах у побережья Гренландии

(Veretenenko and Thejll, *J.Phys.:Conf.Ser.*, 2013)

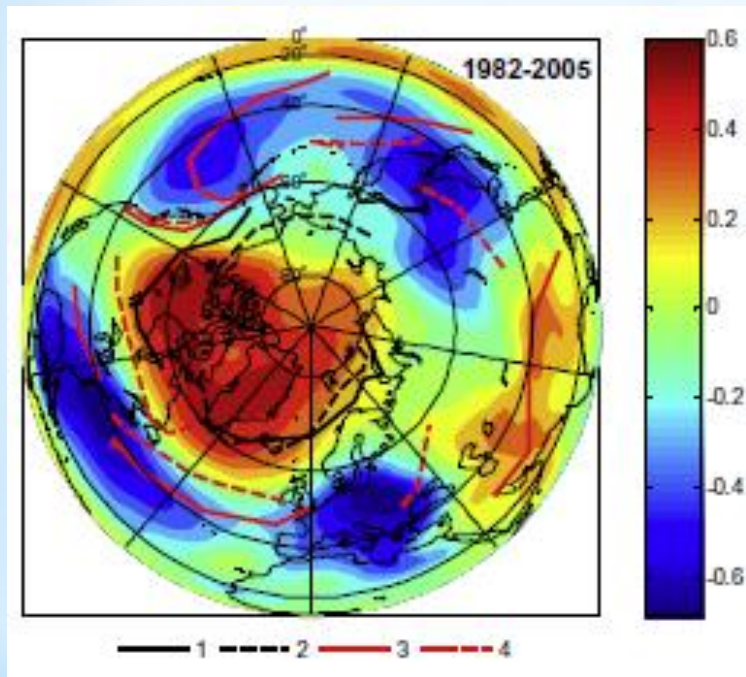


Форбуш-понижения ГКЛ:

Ослабление циклонов и **интенсификация антициклонов** на полярных и Арктических фронтах в умеренных широтах

(Artamonova and Veretenenko, *Adv.Space Res.*, 2014)

* Эффекты КЛ в эволюции внетропических барических систем: десятилетняя шкала



Распределение коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями давления в тропосфере и интенсивностью ГКЛ в эпоху сильного циркумполярного вихря (Veretenenko and Ogurtsov, Adv.Space Res., 2014)

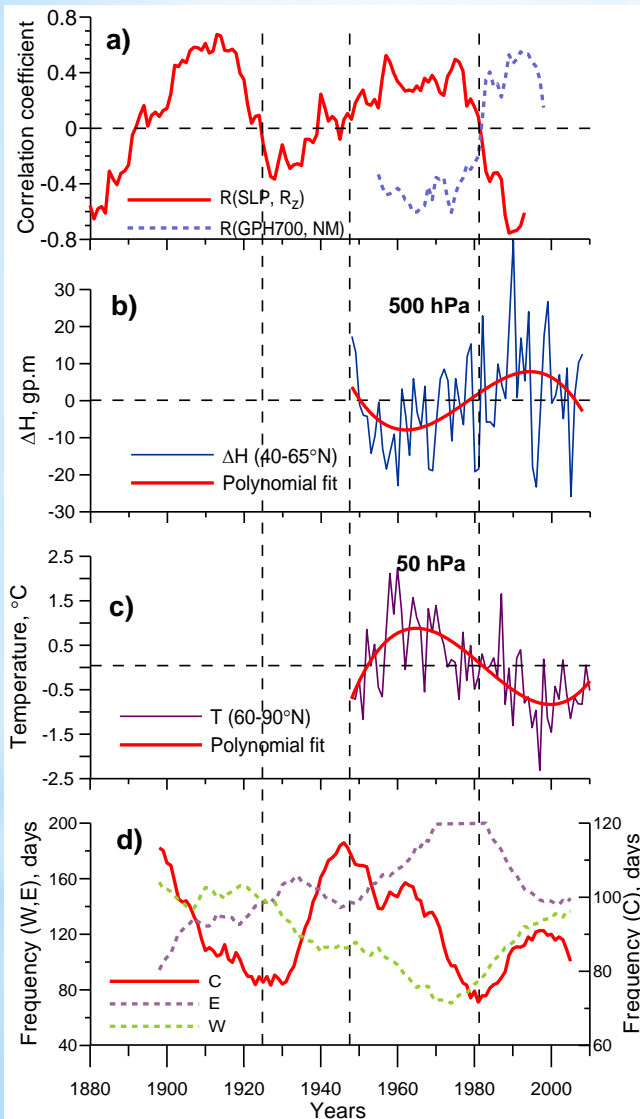
С ростом интенсивности ГКЛ в минимумах 11-летнего солнечного цикла усиливается внетропический циклогенез (понижается давление) на полярных фронтах умеренных широт

Таким образом, **увеличение потока КЛ** (как солнечных, так и галактических) сопровождается **интенсификацией циклонической активности в умеренных широтах** как на временной шкале порядка нескольких суток, так и в 11-летнем цикле.

Это предполагает возможное влияние ГКЛ на состояние облачности через изменения в эволюции барических систем (циклонов и антициклонов) .

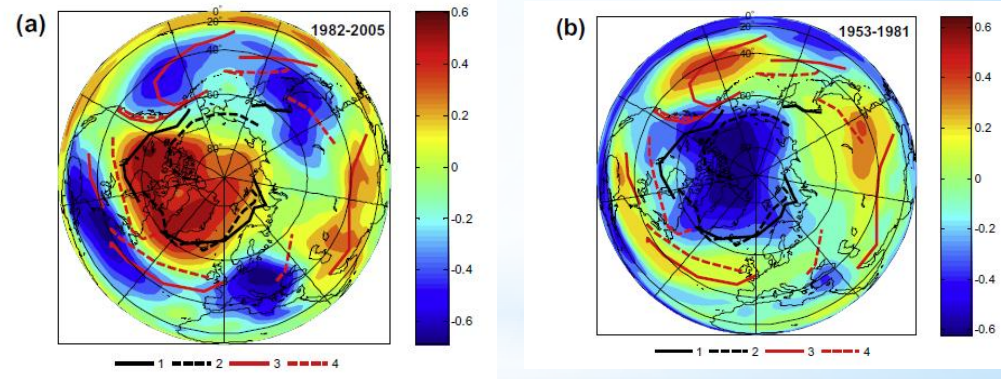
*** 4. Долговременные
вариации эффектов ГКЛ
в динамике тропосферы и
состоянии облачности**

* Долговременные вариации эффектов СА/ГКЛ в циркуляции тропосферы



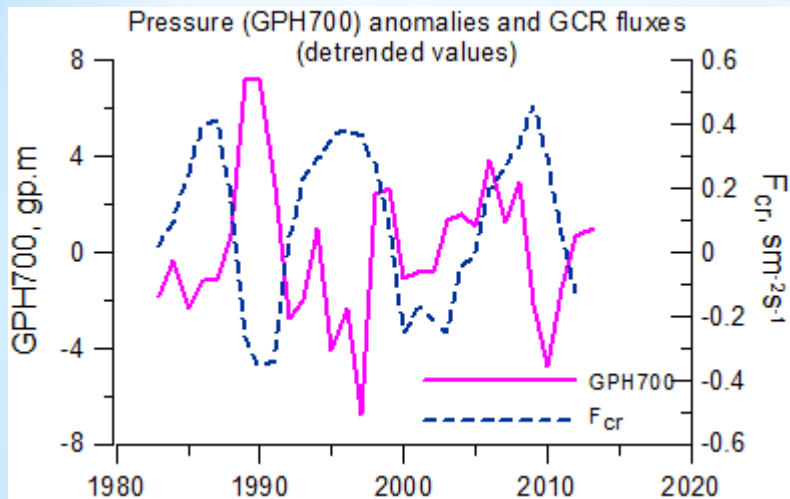
Коэффициенты корреляции между давлением в умеренных и высоких широтах и числами Вольфа обнаруживают **~60-летнюю периодичность**.

Эта периодичность может быть обусловлена **эпохами крупномасштабной циркуляции**, которые, в свою очередь, могут быть связаны с изменениями состояния **стратосферного циклонического вихря в полярных широтах** (циркумполярного вихря).



Изменение состояния вихря имели место в конце 19-го века, в 1920-х, 1950-х и 1980-х гг. После 2000 г. происходит **очередная смена состояния вихря**, что находит отражение в изменении корреляций, наблюдавшихся в период ~1980-2000 гг.

* Аномалии давления в умеренных широтах и потоки ГКЛ

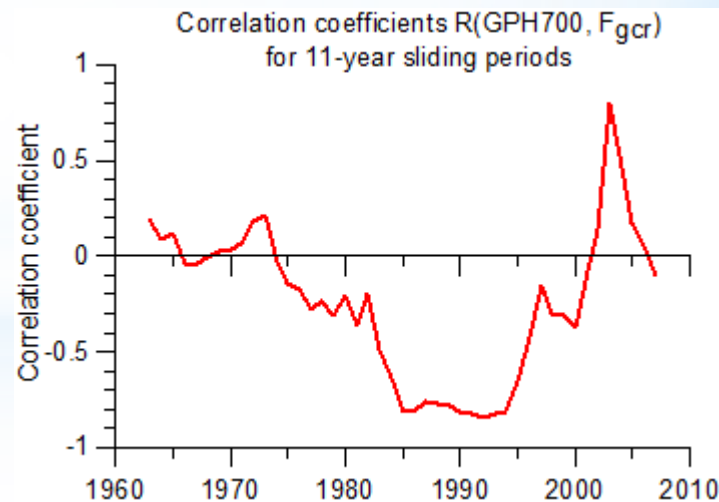


Резкое изменение знака коэффициентов корреляции между интенсивностью циклогенеза и потоками ГКЛ может быть следствием **перехода вихря в слабое состояние**.

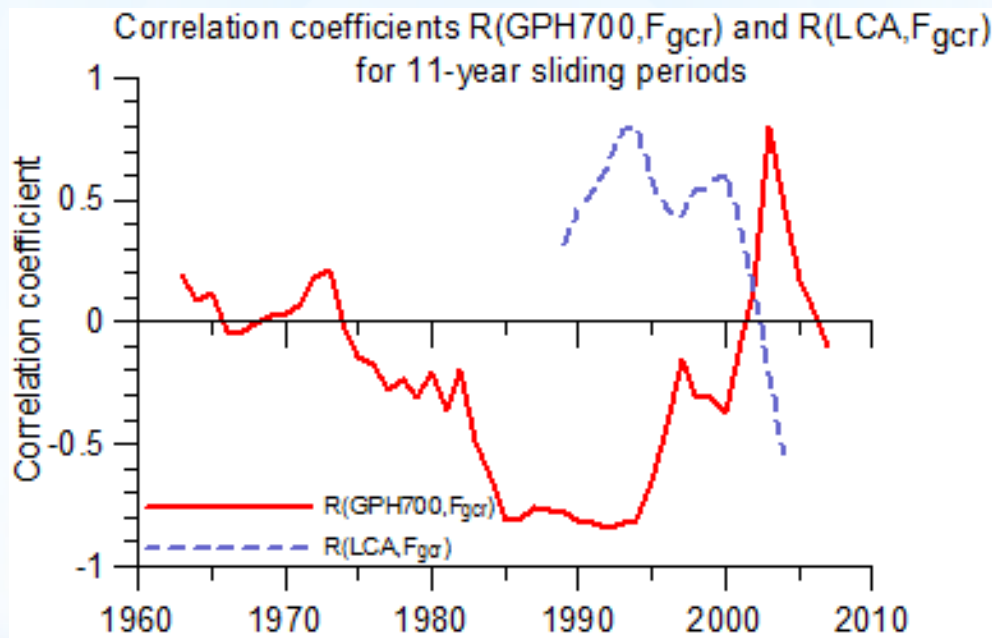
В 1980-2000-х гг. (период сильного циркумполярного вихря) давление и потоки ГКЛ меняются в противофазе:

рост интенсивности ГКЛ → усиление циклогенеза (понижение давления) → увеличение облачности.

В начале 2000-х гг. - **изменение знака корреляции** между давлением в умеренных широтах (циклонической активностью) и потоками ГКЛ.



* Временной ход эффектов ГКЛ в вариациях давления и состояния облачности



Так как облачность в умеренных широтах тесно связана с интенсивностью циклонов, **изменение знака эффектов ГКЛ в тропосферной циркуляции приводит к нарушению положительной корреляции между нижней облачностью и потоками ГКЛ**, наблюдавшимися в период ~1980-2000 г.

* Выводы

- **Корреляционные связи между состоянием облачного покрова в умеренных широтах и вариациями ГКЛ**, наблюдаемые на десятилетней временной шкале, являются опосредованными, т.е. они **обусловлены эффектами ГКЛ в развитии внетропических барических систем** (циклонов и антициклонов), формирующих поле облачности.
- **Положительная корреляция между аномалиями нижней облачности и потоками ГКЛ** в период 1983-2000 гг. является следствием **усиления циклонической активности** в умеренных широтах при увеличении потоков ГКЛ, которое наблюдается при условиях сильного циркумполярного вихря.
- **Нарушение положительной корреляции LCA/GCR** после 2000 г. может быть связано с **изменением состояния циркумполярного вихря**, которое привело к **обращению знака эффектов ГКЛ** в эволюции внетропических барических систем.
- Результаты исследования свидетельствуют о важной роли стратосферного циркумполярного вихря в механизме солнечно-атмосферных связей.