



36-я Всероссийская конференция по  
космическим лучам  
28 сентября – 2 октября 2020 г. Москва

# ЭФФЕКТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ ЯНВАРЯ 2005 ГОДА В ВАРИАЦИЯХ ИНТЕНСИВНОСТИ СТРАТОСФЕРНОГО ПОЛЯРНОГО ВИХРЯ

**Веретененко С.В.**

**Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе  
Санкт-Петербург, Россия**

**E-mail: [s.veretenenko@mail.ioffe.ru](mailto:s.veretenenko@mail.ioffe.ru)**

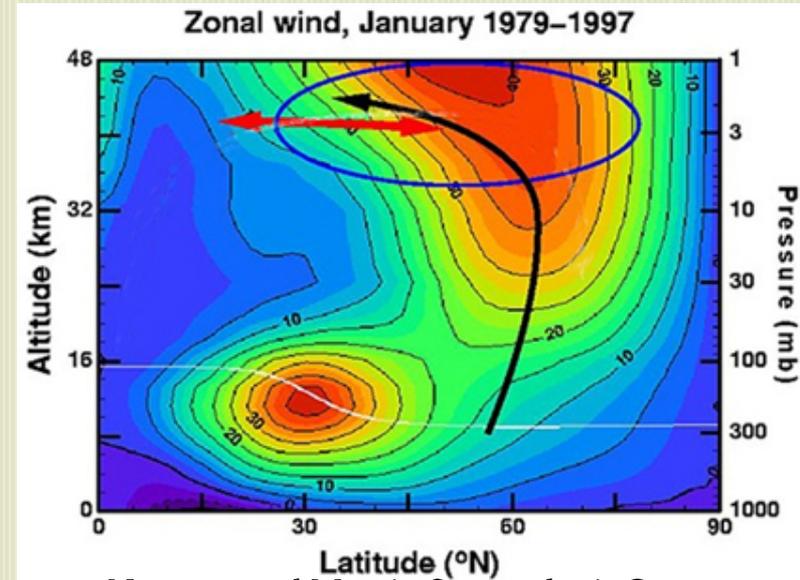
**Skype: Deibner Ivan**

# Стратосферный циркумполярный (полярный) вихрь

Циркумполярный (полярный) вихрь (ЦПВ) – циклоническая циркуляция, формирующаяся в полярных широтах выше уровня 500 гПа.

ЦПВ виден в стратосфере как

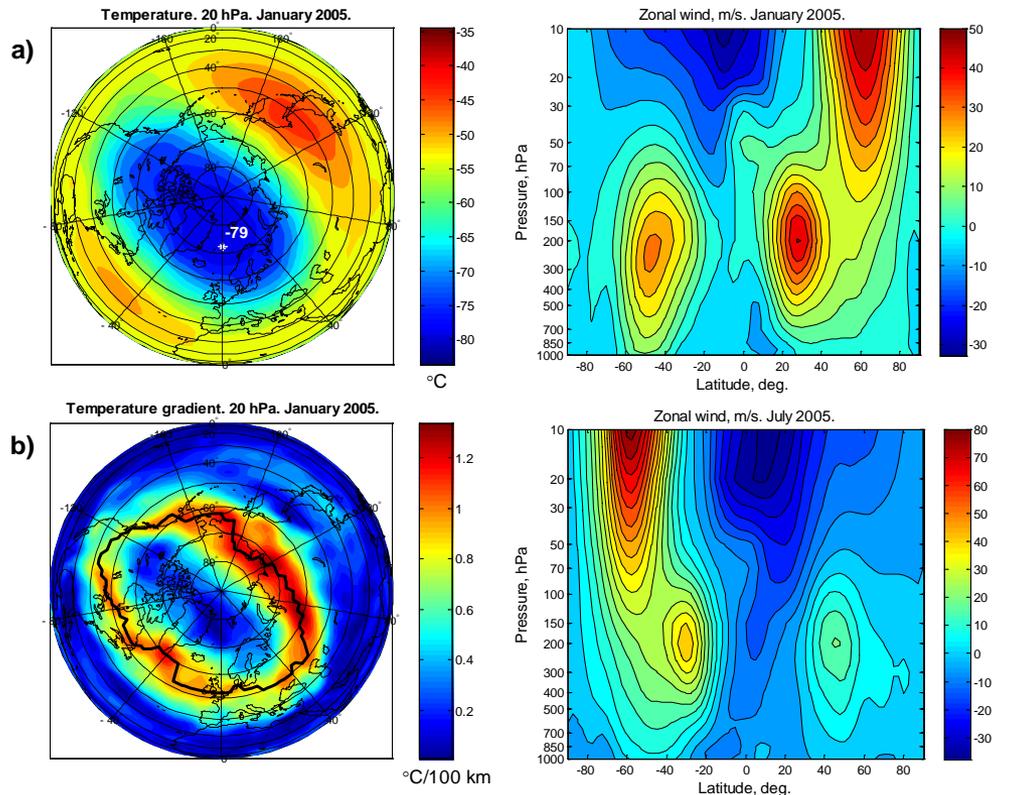
- Область **понижения температуры**, с увеличением на краях области горизонтальных градиентов температуры
- Область **усиления зонального западного ветра**.



Newman and Mooris, Stratospheric Ozone.  
[http://www.ccpo.edu/SEES/ozone/oz\\_class.htm](http://www.ccpo.edu/SEES/ozone/oz_class.htm)

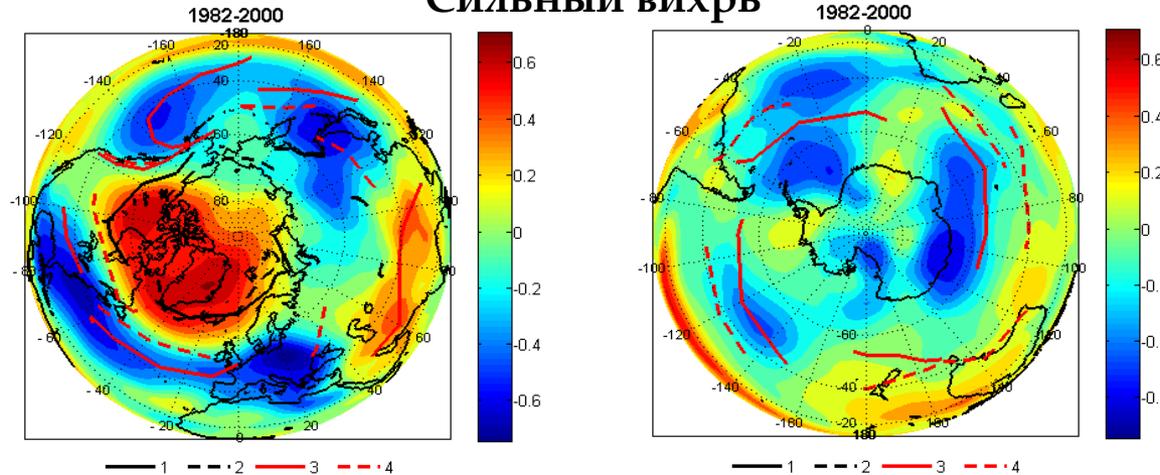
Важной особенностью вихря является его способность влиять на **взаимодействие стратосферы и тропосферы** посредством планетарных волн.

При сильном вихре планетарные волны отражаются обратно в тропосферу, при слабом – распространяются выше.



# Роль ЦПВ в формировании долговременных эффектов СА/ГКЛ в тропосферной циркуляции

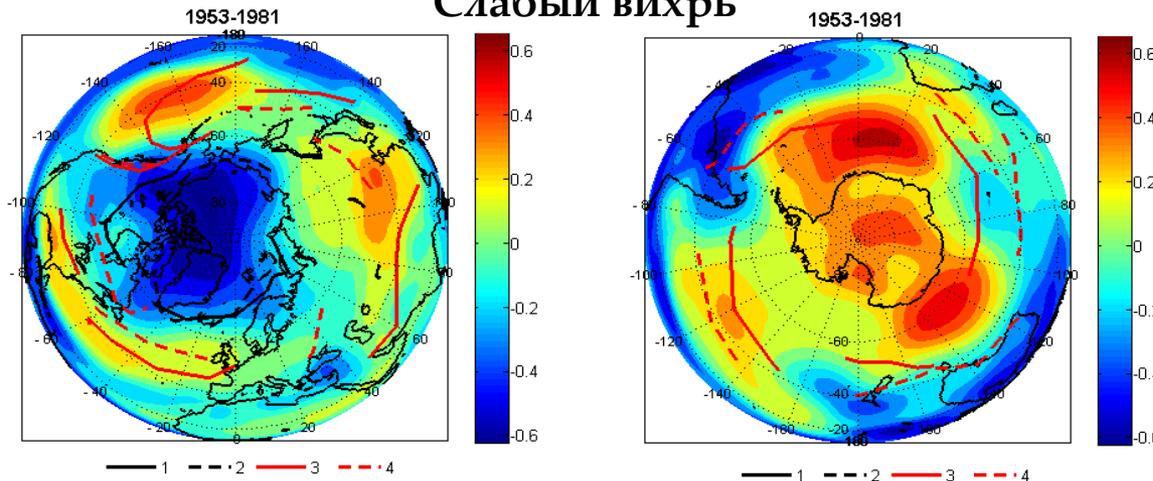
## Сильный вихрь



Состояние ЦПВ влияет на формирование эффектов СА/ГКЛ в динамике атмосферы.

При сильном полярном вихре **рост потока ГКЛ** в 11-летнем солнечном цикле приводит к **усилению циклогенеза** (понижению давления) на Полярных фронтах умеренных широт

## Слабый вихрь



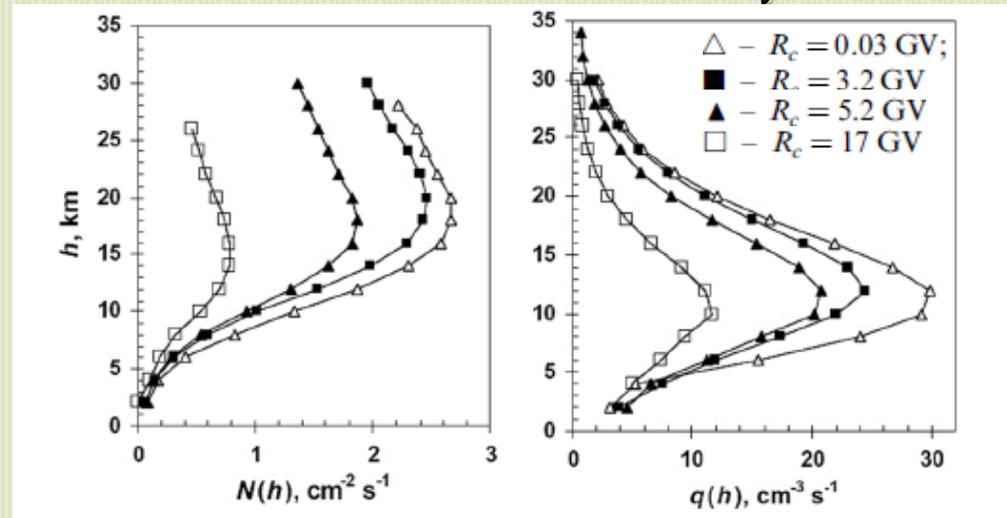
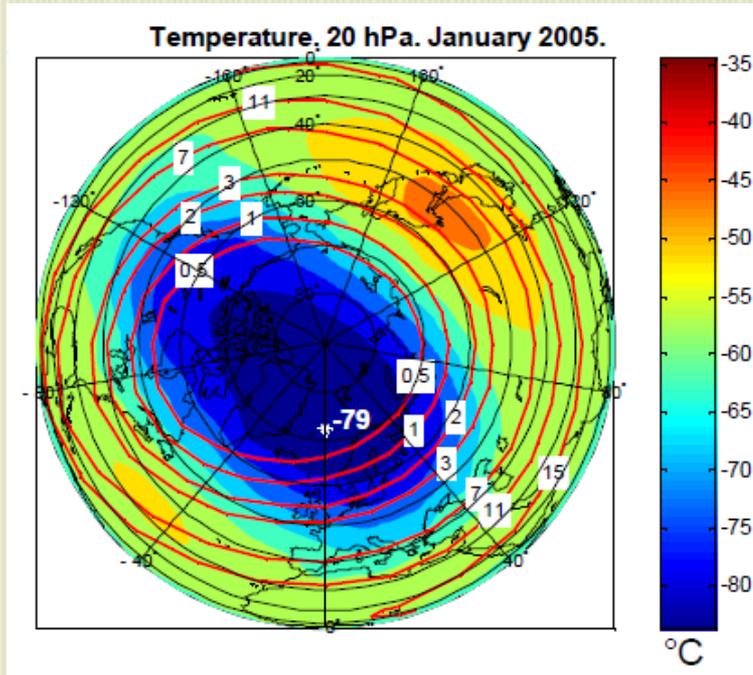
При слабом вихре эффекты ГКЛ в развитии внетропических циклонов имеют **противоположный характер**

Коэффициенты корреляции между среднегодовыми значениями давления в нижней атмосфере и скоростью счета НМ в Клаймаксе

(Veretenenko and Ogurtsov, *Adv.Space Res.*, 2012)

# Область формирования полярного вихря и пороги геомагнитного обрезания

## Галактические космические лучи

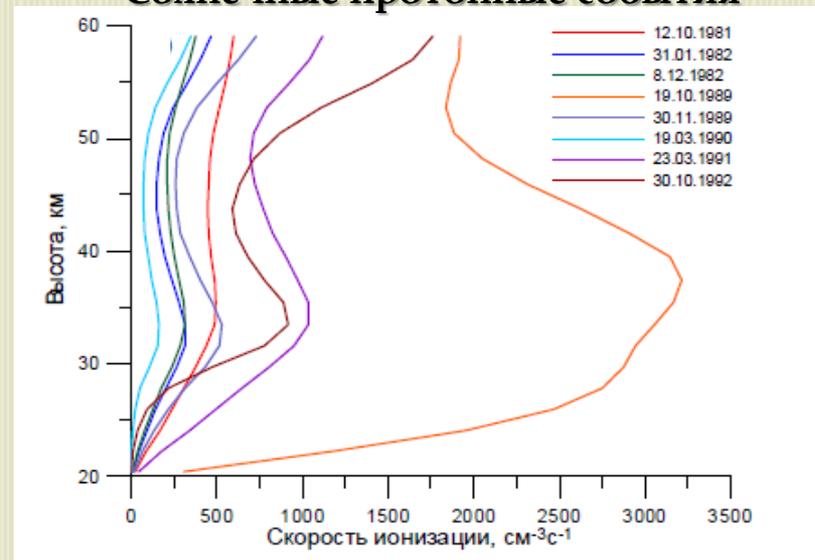


*Stozhkov et al., Adv. Space Res., 2009*

В области формирования вихря наблюдаются **низкие пороги геомагнитного обрезания** → **высокие скорости ионизации** за счет космических лучей.

Расположение вихря создает условия для работы ряда механизмов солнечно-атмосферных связей, включающих изменения химического состава и температуры полярной атмосферы (Криволицкий и Репнев, 2009), электрических характеристик и облачности (Tinsley, 2008).

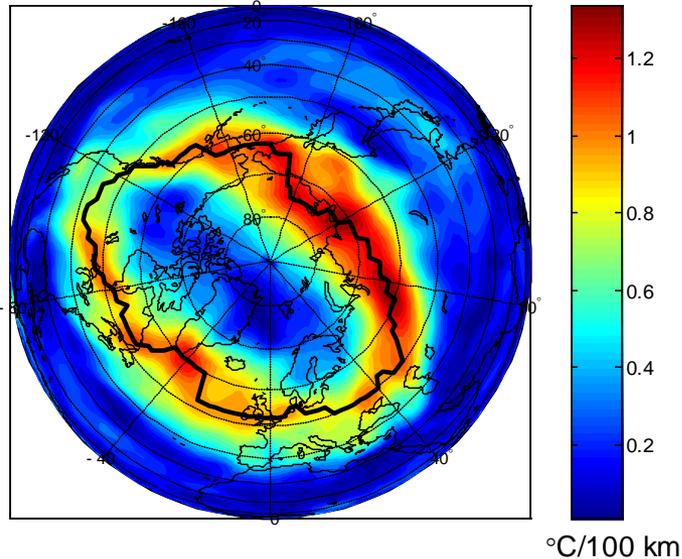
## Солнечные протонные события



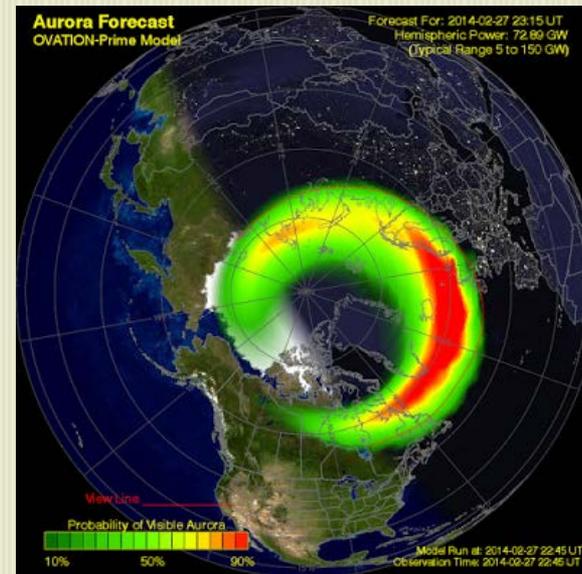
По данным SOLARIS-HEPPA (<https://solarisheppa.geomar.de/>)

# Область формирования полярного вихря и авроральный овал

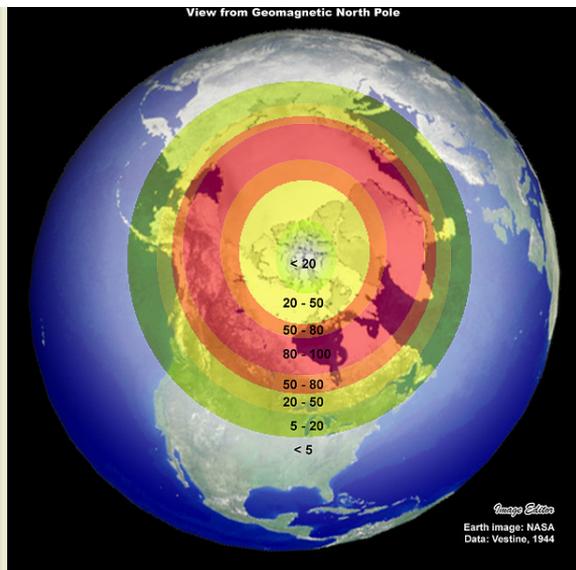
Temperature gradient. 20 hPa. January 2005.



Типичное положение границ ЦПВ приходится на область максимальной повторяемости полярных сияний – **авроральную зону** (~60-80°), что создает условия для авроральных эффектов.



Прогноз вероятности наблюдения полярных сияний для геомагнитной бури 27.02.2014 (<http://www.swpc.noaa.gov/ovation/>)



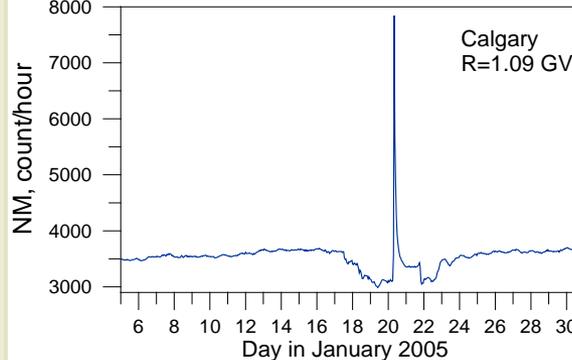
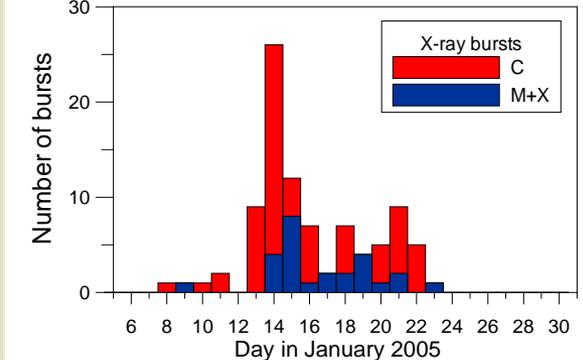
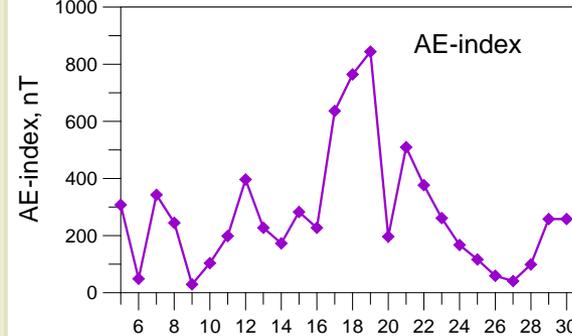
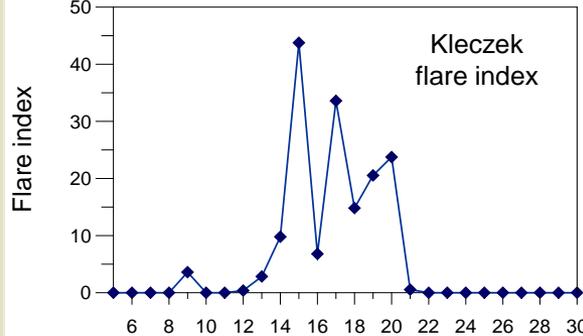
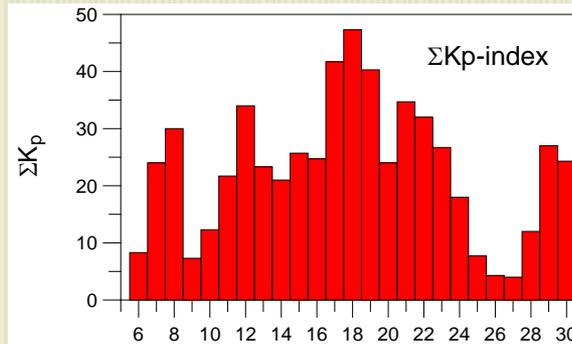
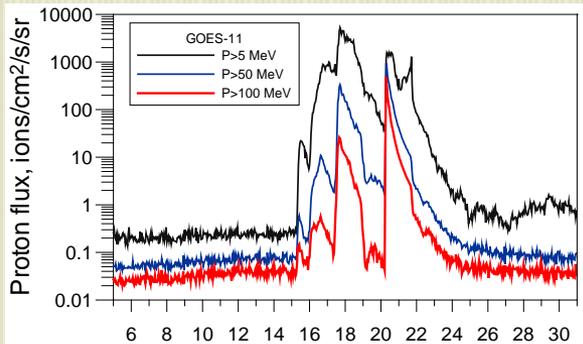
Распределение частоты повторяемости (в %) полярных сияний в ночное время

- ❖ Стратосферный полярный вихрь является важным связующим звеном между циркуляцией нижней атмосферы и солнечной активностью
- ❖ Высокоширотное расположение полярного вихря благоприятно для работы различных физических механизмов влияния солнечной активности на погоду и климат

### **Цель настоящей работы:**

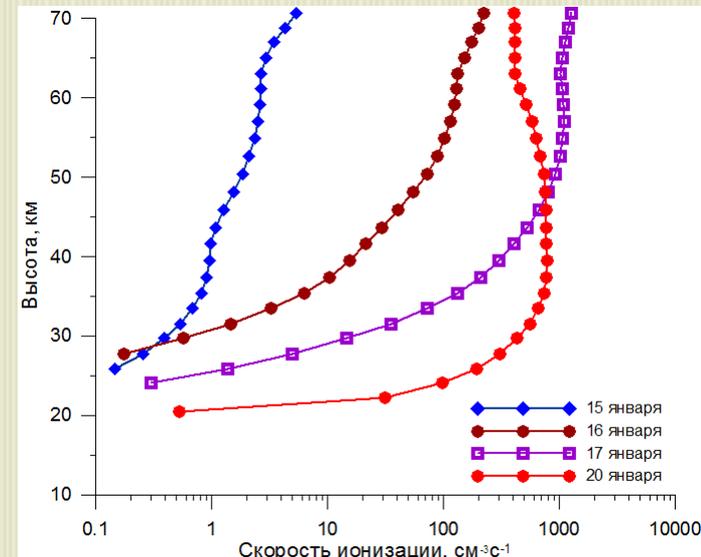
Исследование изменений интенсивности вихря (скорости ветра в стратосфере высоких широт по данным реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) )  
в зависимости от явлений, обусловленных солнечной активностью (мощных солнечных протонных событий)

# Протонные события января 2005 года



## Протонные события:

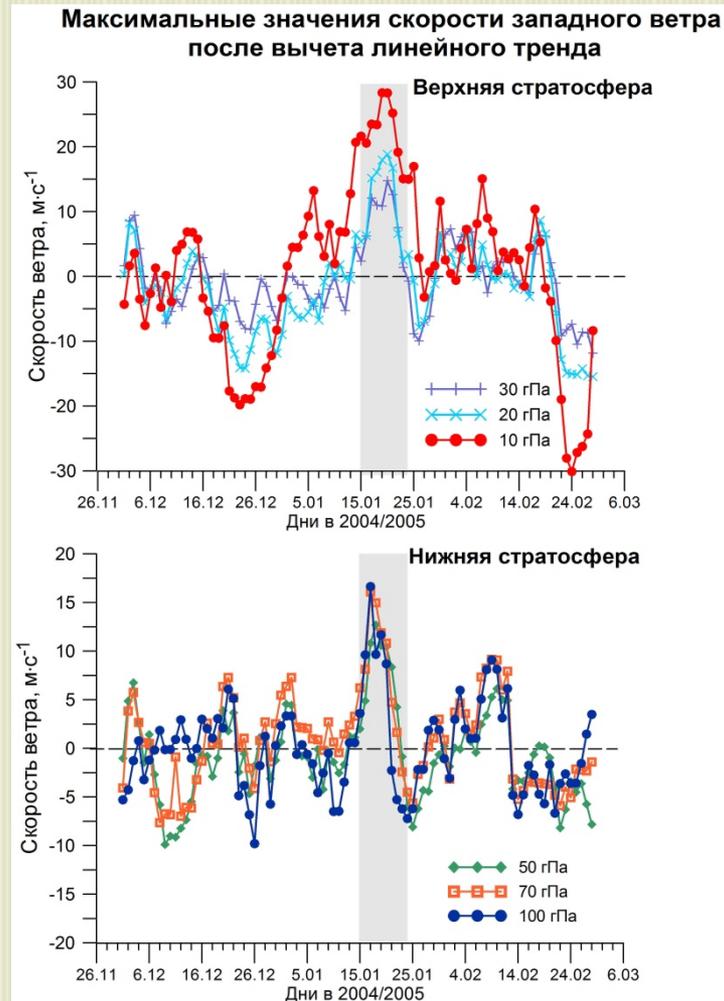
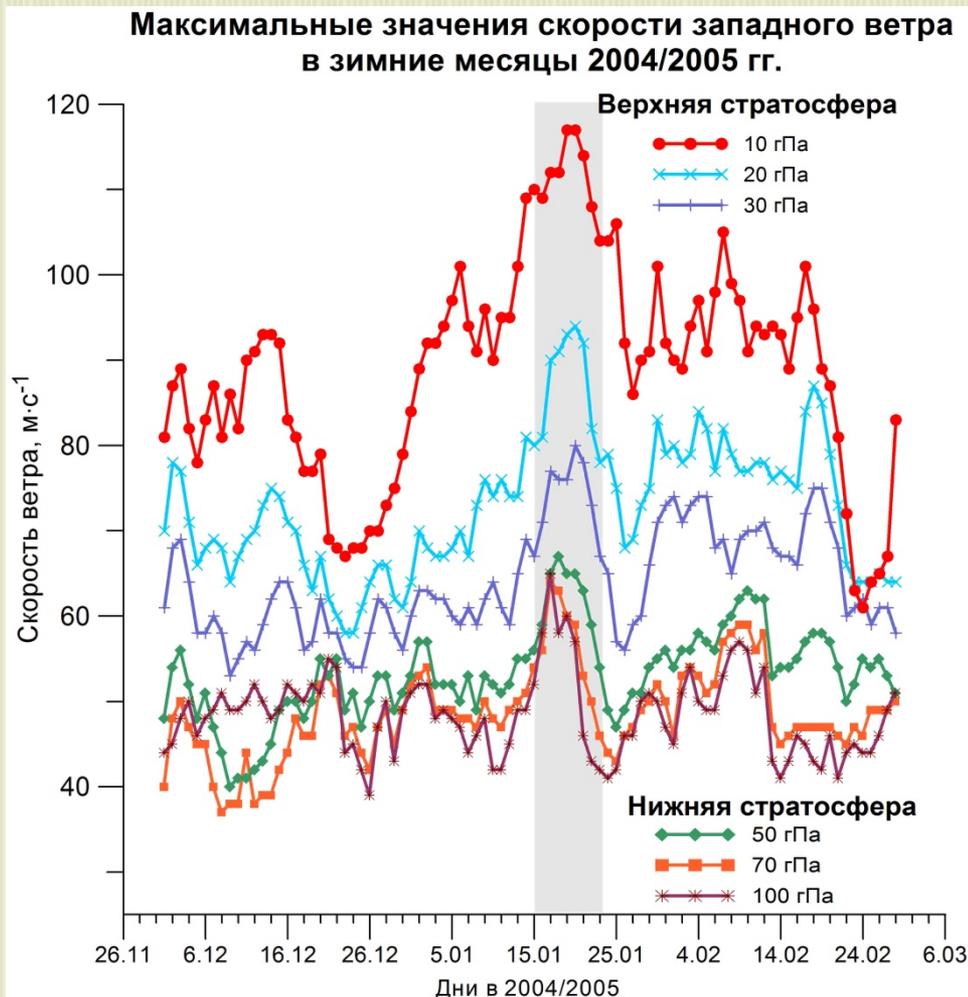
- **15, 16 и 17 января** – регистрировались потоки частиц с энергиями  $E \sim 165-500$  МэВ (<http://spidr.ngdc.noaa.gov>), достигающие высот стратосферы. 17.01 - слабое GLE (Logachev et al., 2016)
- **20 января** – GLE (Ground Level Enhancement).



Вариации солнечно-геофизических индексов в январе 2005 г.

Скорость ионизации в области  $\Phi=60-90^\circ$   
 (SOLARIS-HEPPA, <https://solarisheppa.geomar.de/>)

# Скорость западного ветра в стратосфере в зимние месяцы 2004/2005 гг.

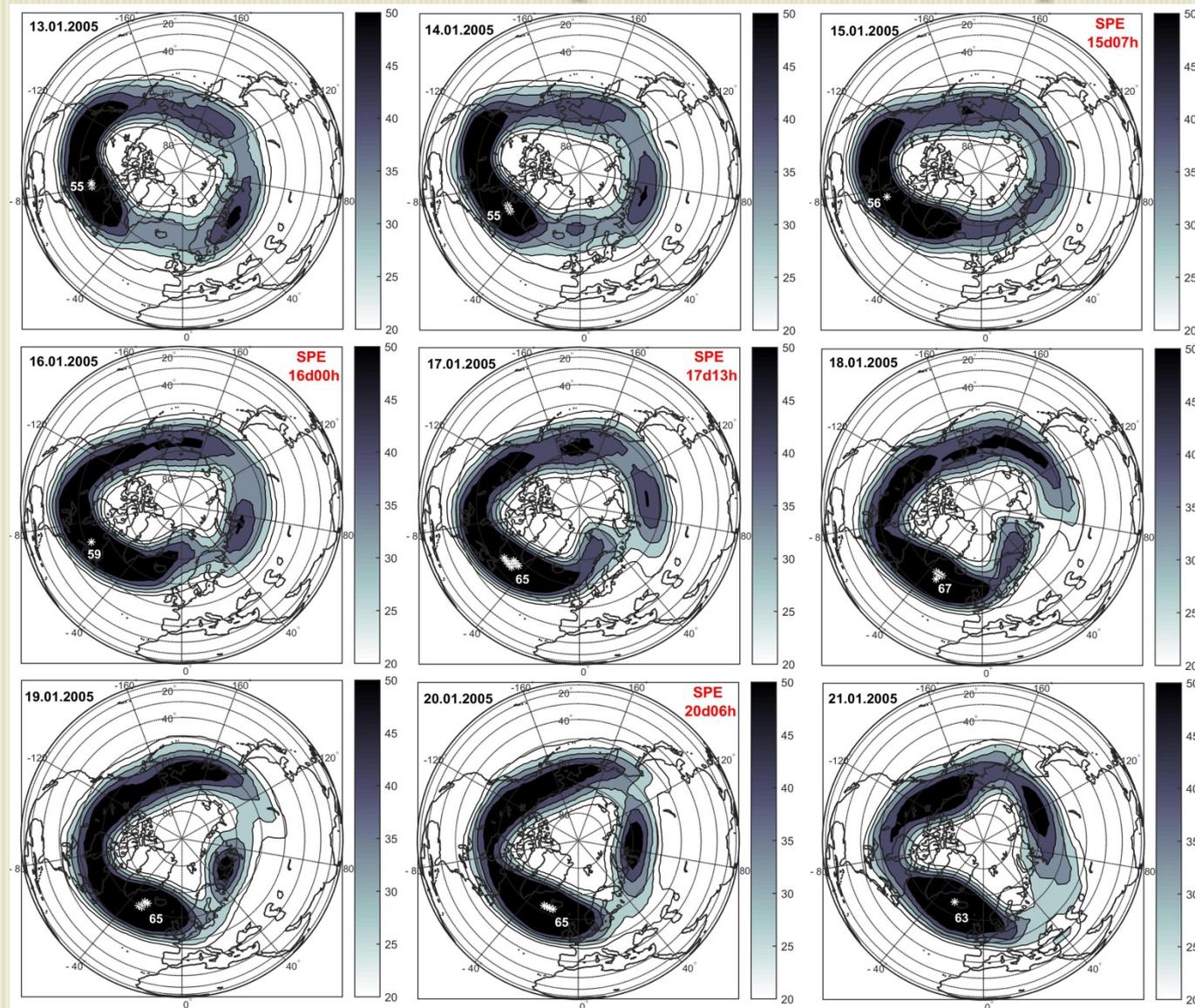


Увеличение максимальных значений скорости западного ветра  $U_{max}$  в стратосфере во время СПС января 2005 г. :

Нижняя стратосфера, 100-50 гПа (~15-20 км) – на ~15 м/с

Верхняя стратосфера, 30-10 гПа (~25-35 км) – на 20-30 м/с

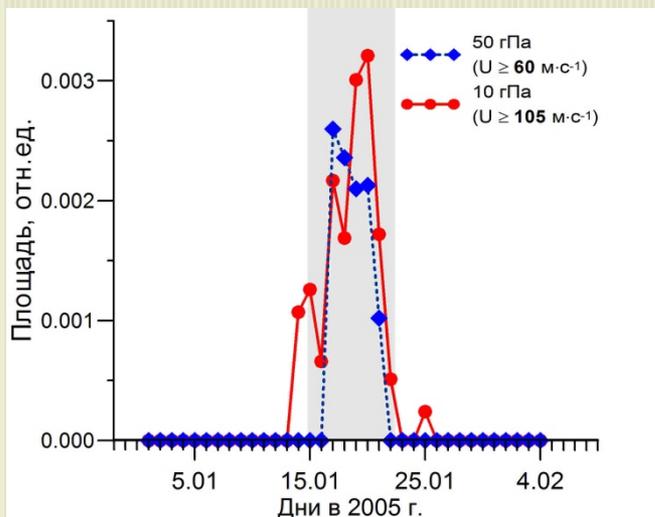
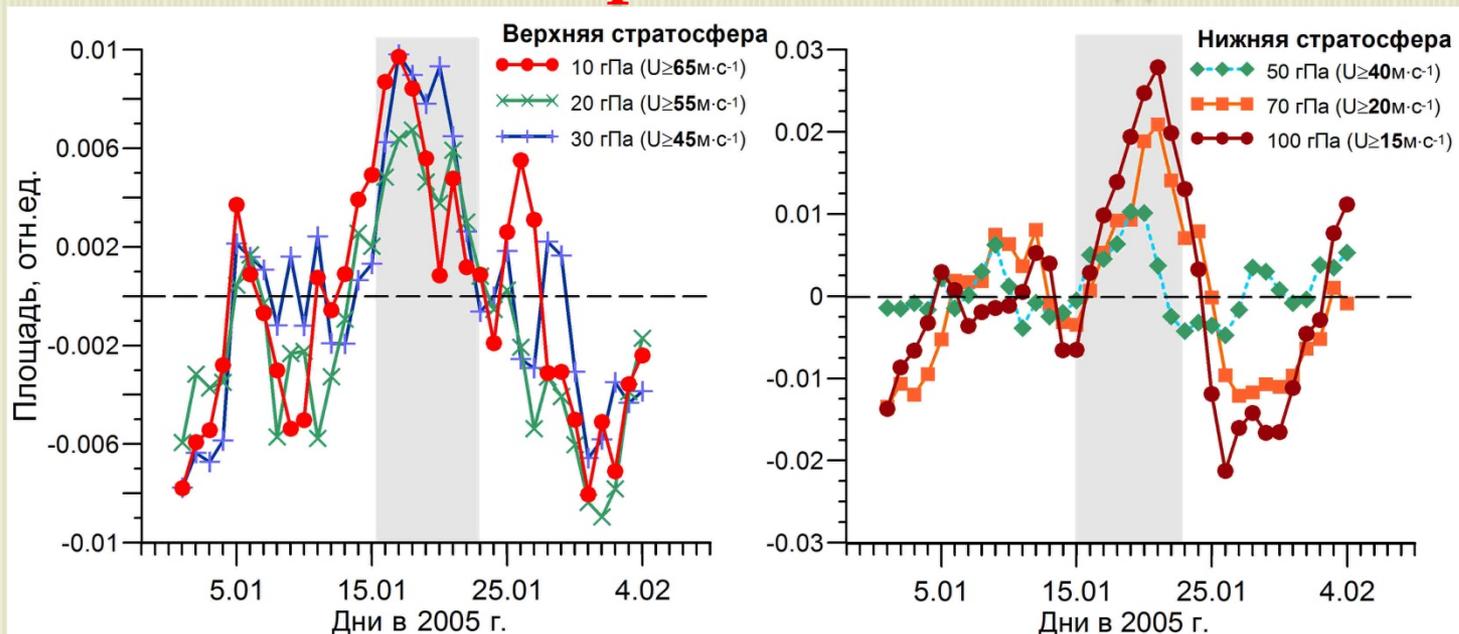
# Изменения скорости западного ветра в стратосфере в период 13-21 января 2005 г.



В ходе СПС 15-20.01  
наблюдалось **увеличение  
долготной  
протяженности и  
площади области,  
охваченной ветрами со  
скоростями  $U \geq 40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$** , а  
также смещение этой  
области на восток (от  
Арктического  
побережья Северной  
Америки к Северной  
Атлантике и  
Скандинавии).

Карты среднесуточной скорости западного ветра  $U$  (в  $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ ) на уровне 50 гПа (20 км). Черным выделена область, где  $U \geq 40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Звездочками отмечены точки максимальных значений  $U_{\text{max}}$ .

# Изменения площади областей с высокими скоростями западного ветра

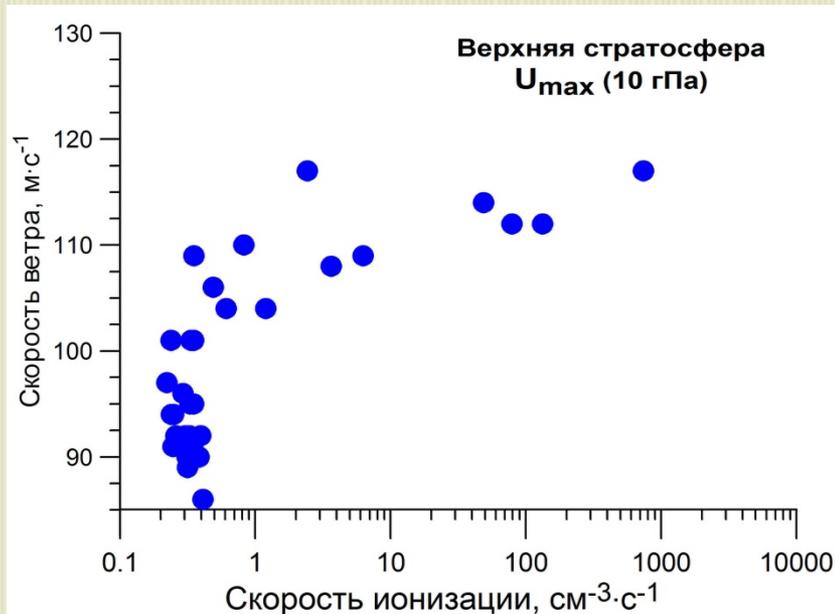


В период 15-23 января 2005 г. на всех уровнях стратосферы произошло **значительное увеличение площади областей, где скорость ветра достигала высоких значений**. Также возникали области со скоростями ветра, не наблюдавшимися до начала события (напр., на 50 гПа - выше  $60 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , на 10 гПа - выше  $105 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ ).

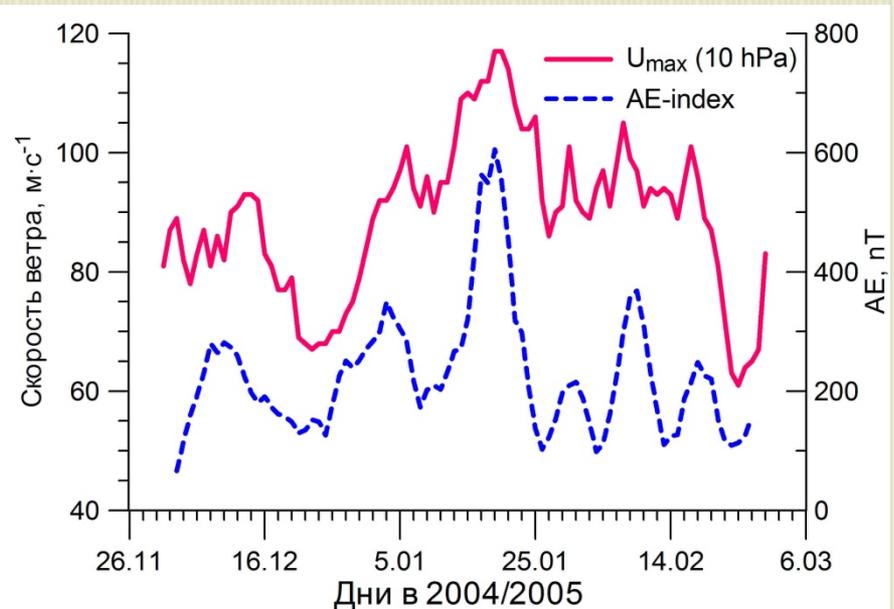
Таким образом, в ходе СПС января 2005 имело место **значительное усиление полярного вихря**.

- Площадь ( в долях от площади земной поверхности), где скорость ветра превышала заданное значение

# Возможные факторы интенсификации полярного вихря в январе 2005 года



Зависимость  $U_{\max}$  (10 гПа) в январе 2005 г. от скорости ионизации в верхней стратосфере (35 км) по данным SOLARIS-NEPPA.



Временной ход максимальных значений скорости ветра  $U_{\max}$  и геомагнитного АЕ-индекса в декабре-феврале 2004/2005 гг. (значения АЕ-индекса сглажены по 5 дням). Коэффициент корреляции  $R \sim 0.7$ .

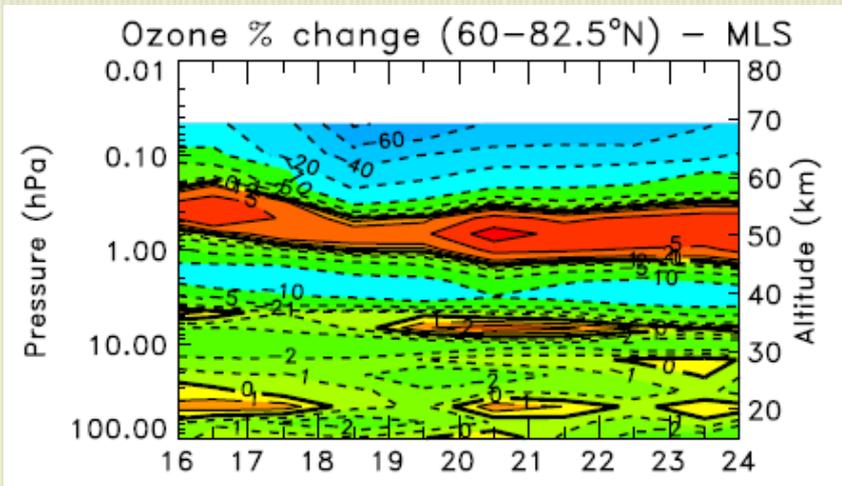
**Рост интенсивности полярного вихря в январе 2005 года может быть связан с :**

- **увеличением скорости ионизации** в стратосфере в ходе СПС
- **усилением авроральной активности** (генерация авроральными электронами тормозного рентгеновского излучения, достигающего верхней стратосферы)

# О возможном механизме эффектов СПС

Увеличение скорости ветра в вихре свидетельствует об **увеличении температурных контрастов** между полярными и умеренными широтами. Возможная причина – **изменения радиационно-теплового баланса** полярной атмосферы вследствие **изменения химического состава**

В период СПС января 2005 г. наблюдалось **уменьшение содержания озона** в мезосфере (20-60% на высотах 60-70 км и в верхней стратосфере/ мезосфере (10% на высотах ~40 км). В условиях полярной ночи озон действует как парниковый газ.



Изменение содержания озона в высоких широтах с 16 по 24 января 2005 г. по данным прибора MLS/Aura (Microwave Limb Sounder) относительно уровня 1-14 января (Jackman et al., 2011)

Увеличение скорости ионизации

Изменение химического состава мезосферы/верхней стратосферы (образование NO<sub>x</sub>, HO<sub>x</sub> → уменьшение содержания озона)

Выхолаживание полярной атмосферы

Увеличение меридионального градиента температуры

Увеличение скорости западного ветра

# Выводы

- ❖ Обнаружено увеличение скорости западного ветра в стратосферном полярном вихре во время солнечных протонных событий января 2005 г.
- ❖ Возможными факторами интенсификации вихря являются изменения скорости ионизации, обусловленные солнечными протонами и авроральной активностью.
- ❖ Усиление вихря может быть обусловлено изменениями температурного режима полярной атмосферы в связи с изменением химического состава
- ❖ Интенсивность стратосферного полярного вихря может испытывать влияние явлений солнечной активности в масштабе нескольких суток

# Список литературы

1. Криволуцкий А.А., Репнев А.И. Воздействие космических факторов на озоносферу Земли. М.: ГЕОС, 2009. 384 с
2. Jackman C.H., Marsh D.R., Vitt F.M. et al. (2011) Northern Hemisphere atmospheric influence of the solar proton events and ground level enhancement in January 2005. *Atmos. Chem. Phys.* V.11. P.6153-6166.
3. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* V. 77. P. 437-472.
4. Logachev Yu.I., Bazilevskaya G.A., Vashenyuk E.V. et al. Catalogue of Solar Proton Events in the 23<sup>rd</sup> Cycle of Solar Activity (1996-2008) Moscow: 2016.
5. Stozhkov Yu.I., Svirzhevsky N.S., Bazilevskaya G.A., et al. (2009) Long-term (50 years) measurements of cosmic ray fluxes in the atmosphere. *Adv. Space Res.* V.44. P.1124-1137.
6. Tinsley B.A. (2008) The global atmospheric electric circuit and its effects on cloud microphysics // *Reports on Progress in Physics.* V. 71. P.66801-66900.
7. Veretenenko S., Ogurtsov M. (2012) Regional and temporal variability of solar activity and galactic cosmic ray effects on the lower atmosphere circulation. *Adv. Space Res.* V.49. P.770-783.