



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

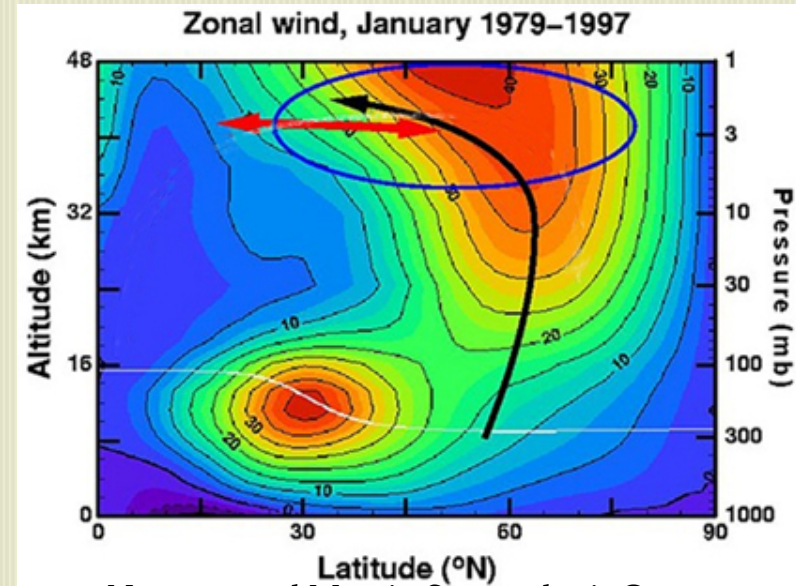
Skype: Deibner Ivan

Стратосферный циркумполярный (полярный) вихрь

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

ЦПВ виден в стратосфере как

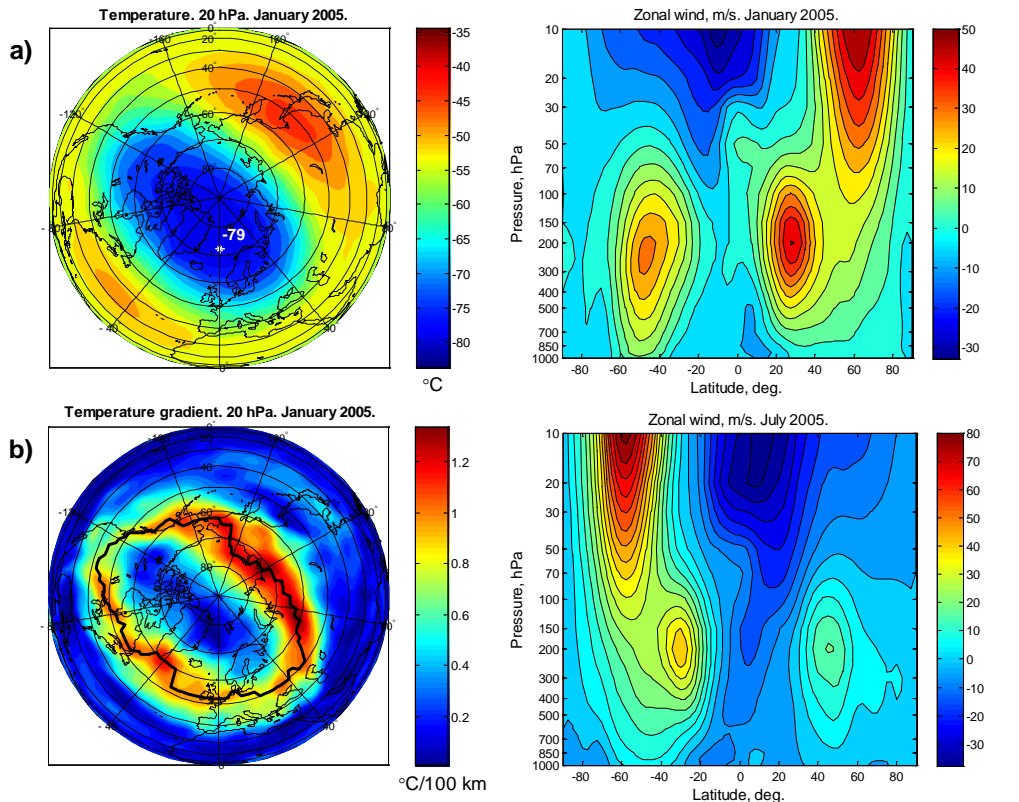
- Область **понижения температуры**, с увеличением на краях области горизонтальных градиентов температуры
- Область **усиления зонального западного ветра**.



Newman and Mooris, Stratospheric Ozone.
http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm

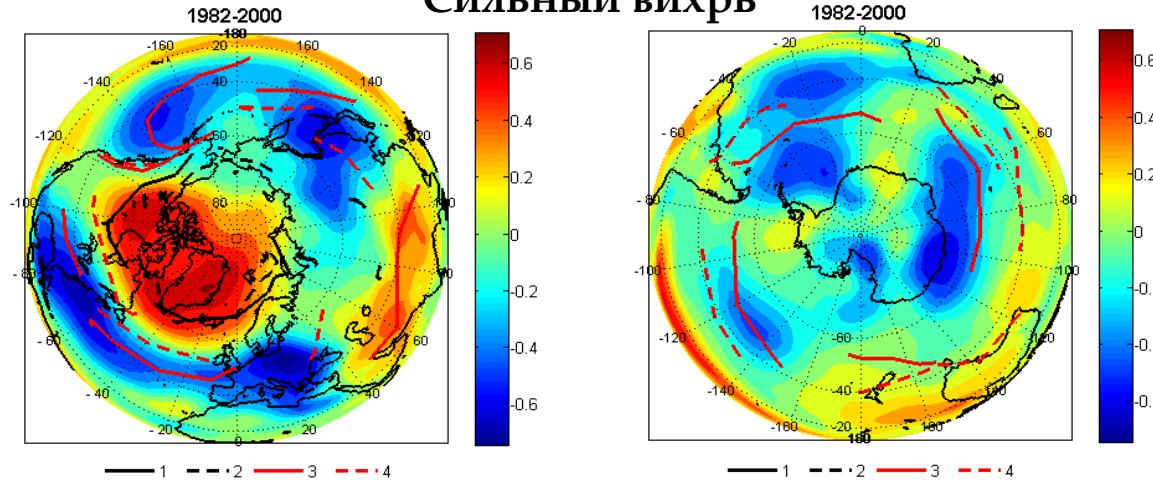
Важной особенностью вихря является его способность влиять на **взаимодействие стратосферы и тропосферы** посредством планетарных волн.

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



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

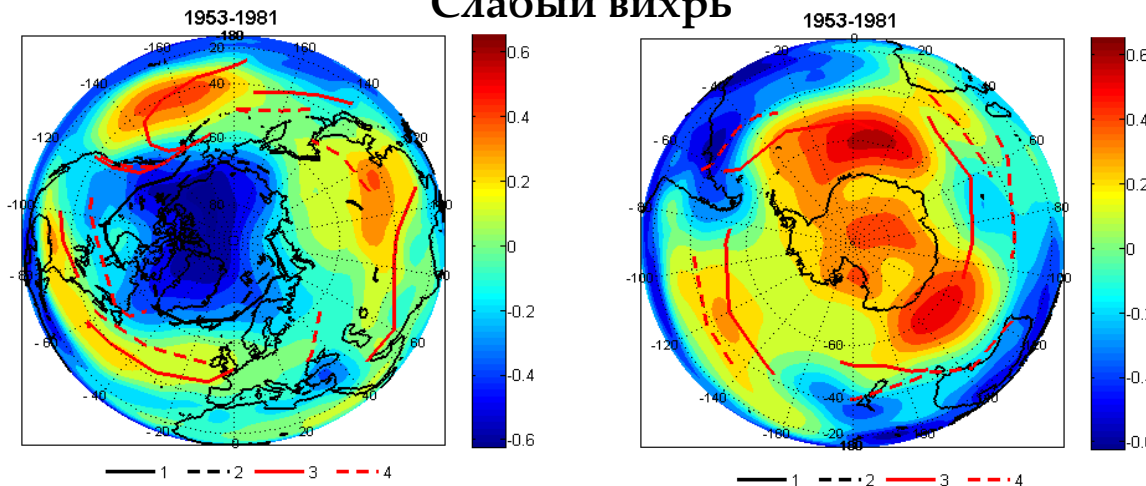
Сильный вихрь



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



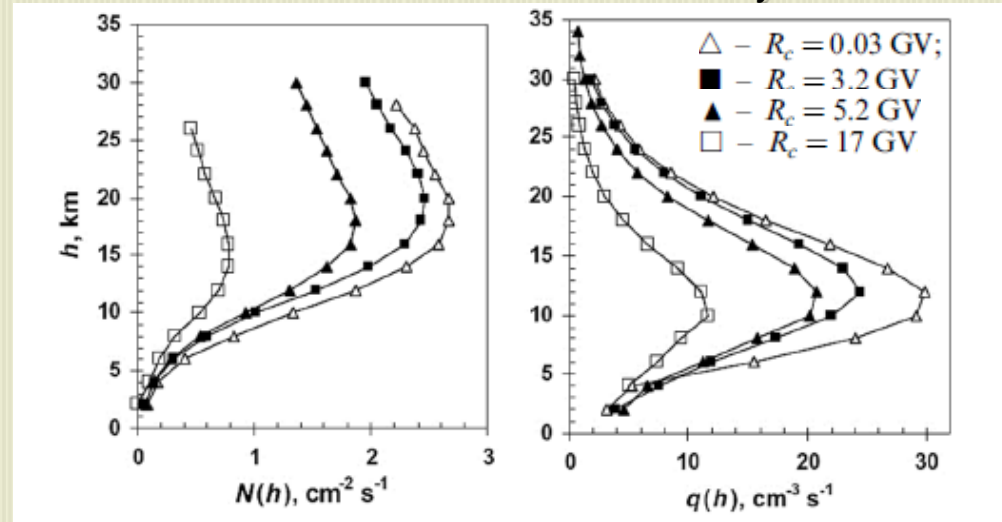
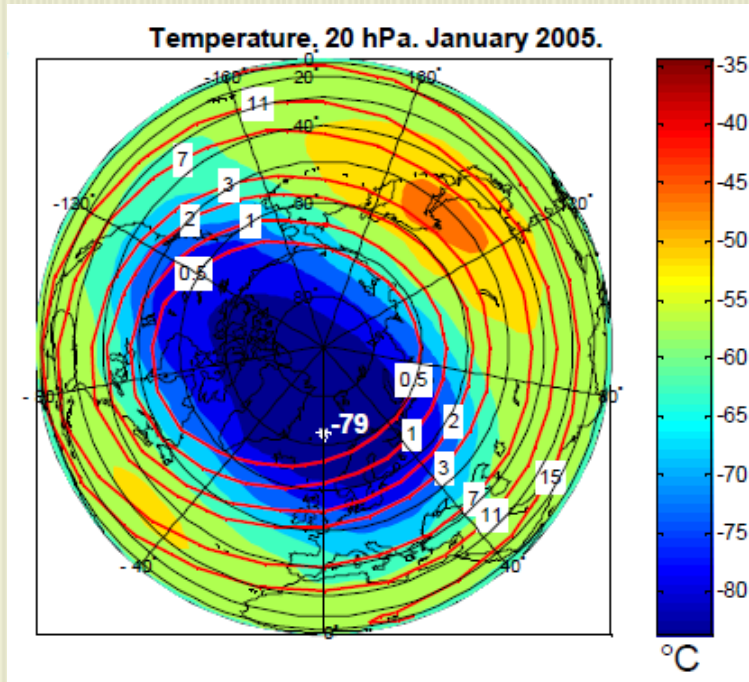
При слабом вихре эффекты ГКЛ в развитии внетропических циклонов имеют **противоположный** характер

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

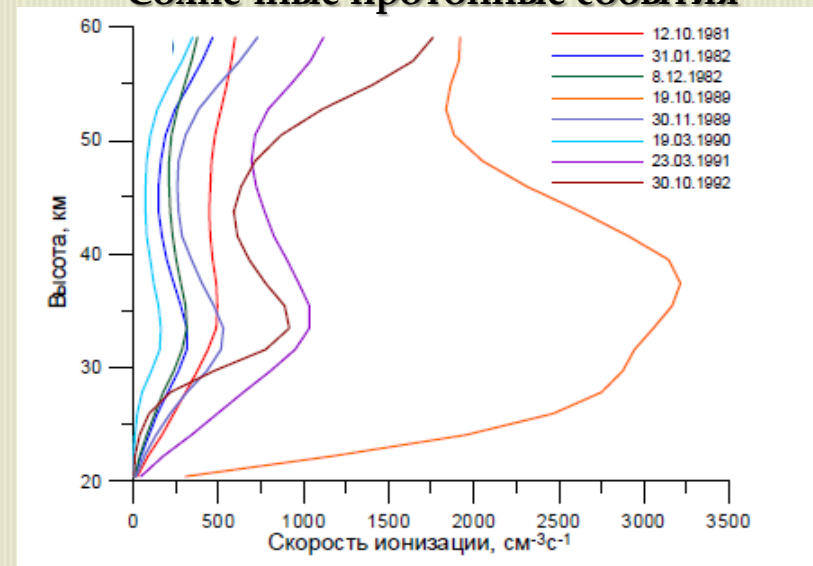


Stozhkov et al., Adv. Space Res., 2009

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).

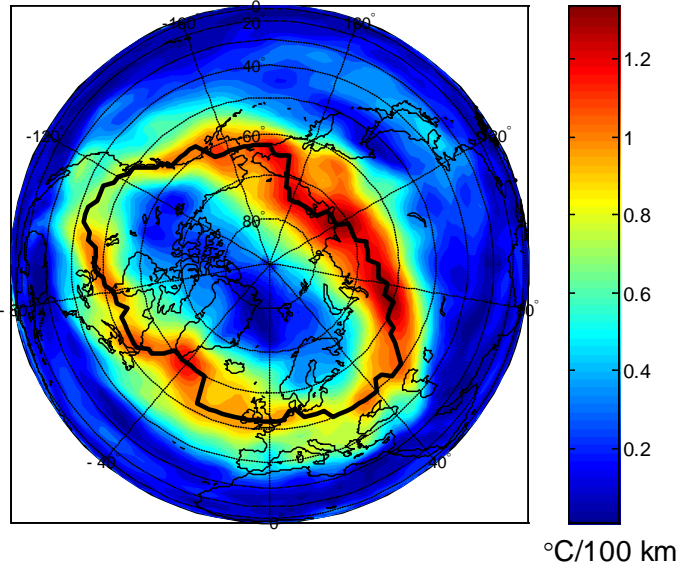
Солнечные протонные события



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

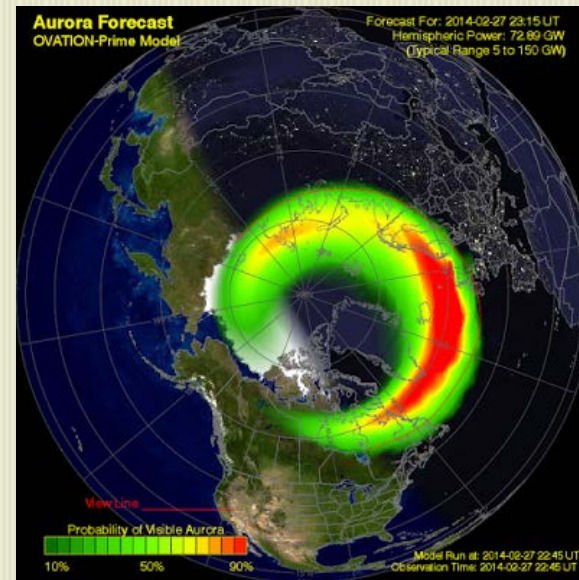
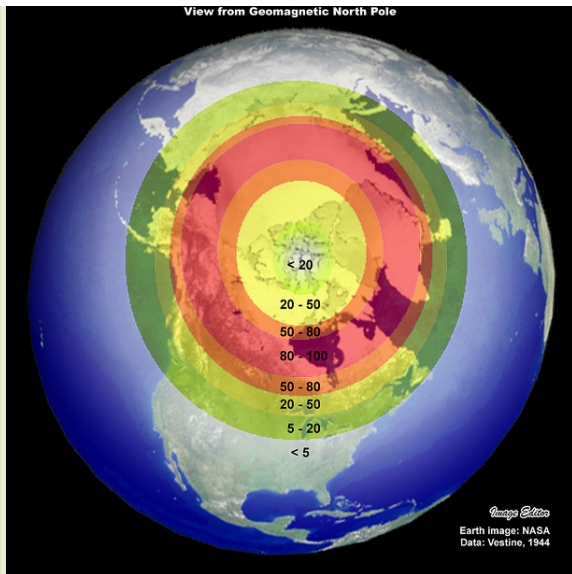
Область формирования полярного вихря и авроральный овал

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.

View from Geomagnetic North Pole



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

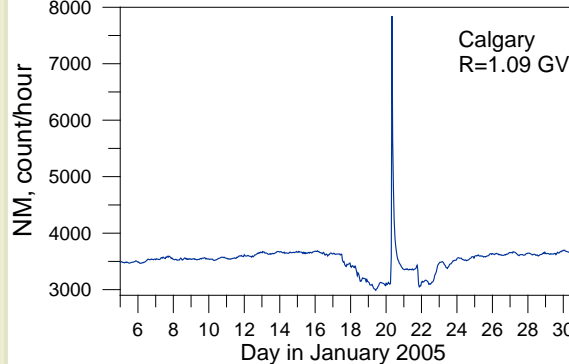
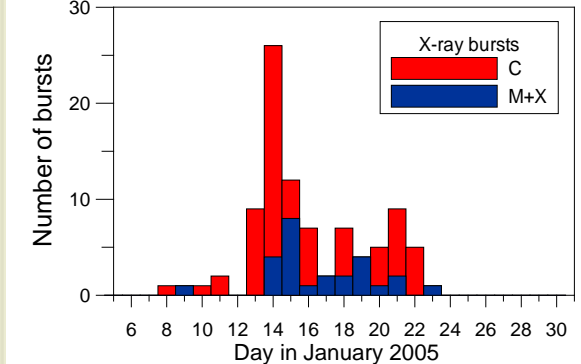
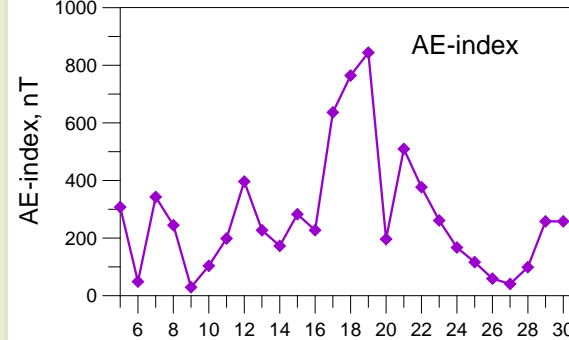
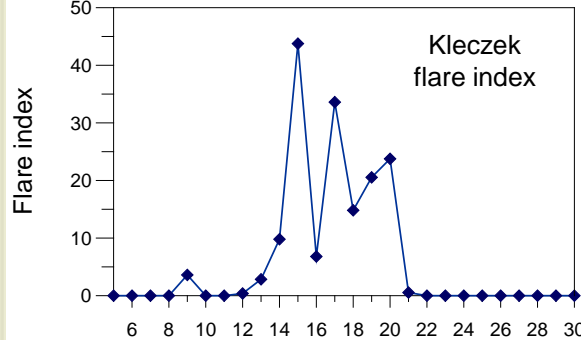
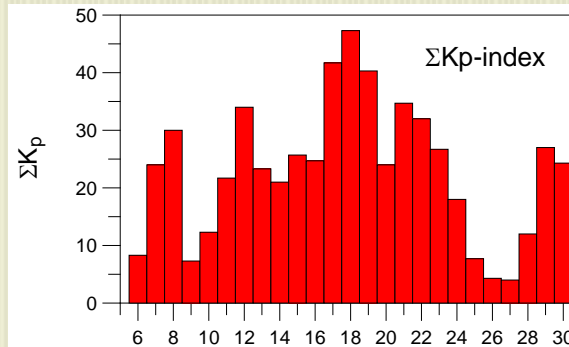
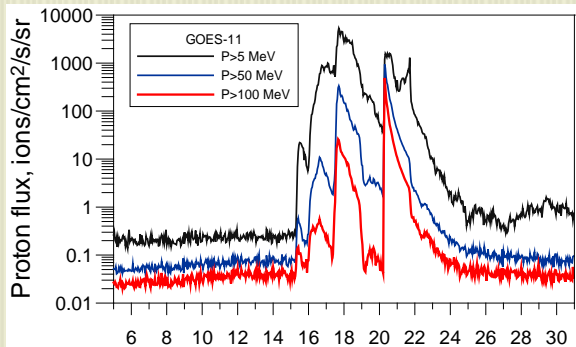
Распределение частоты повторяемости (в %) полярных сияний в ночное время

- ❖ 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:

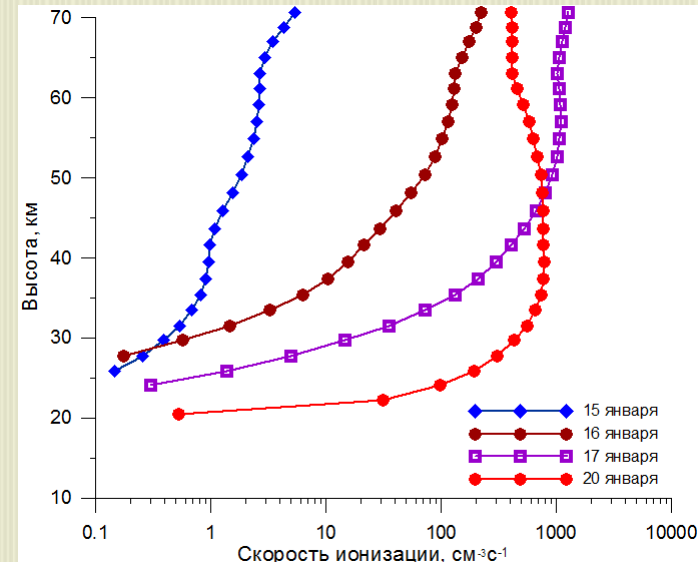
Исследование изменений интенсивности вихря (скорости ветра в стратосфере высоких широт по данным реанализа NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996))
в зависимости от явлений, обусловленных солнечной активностью (мощных солнечных протонных событий)

Протонные события января 2005 года



Протонные события:

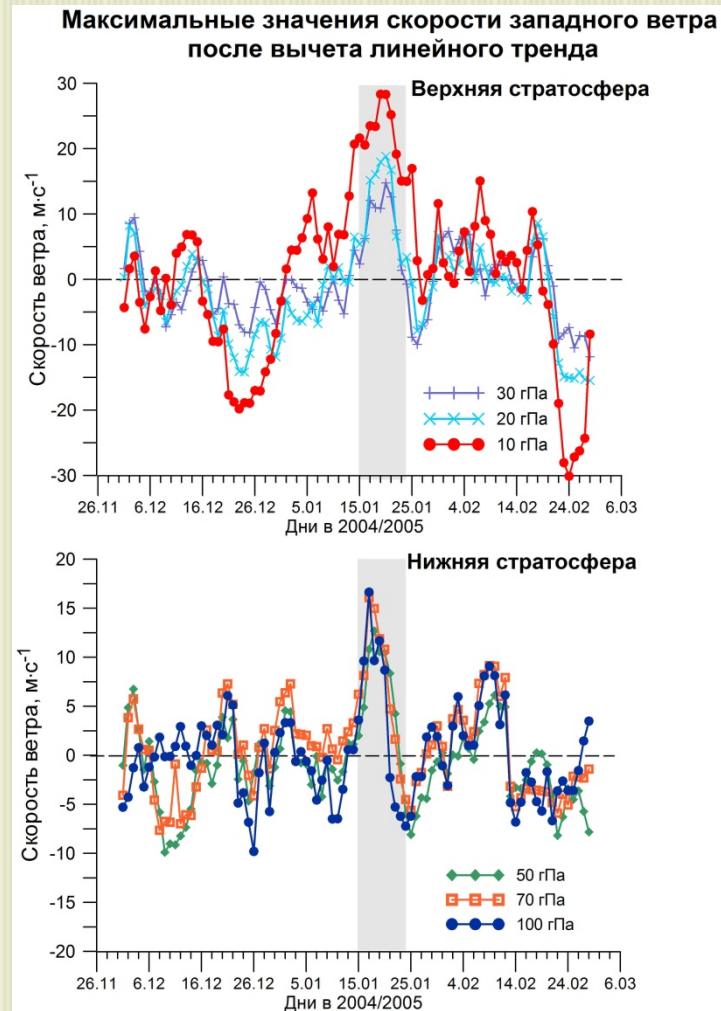
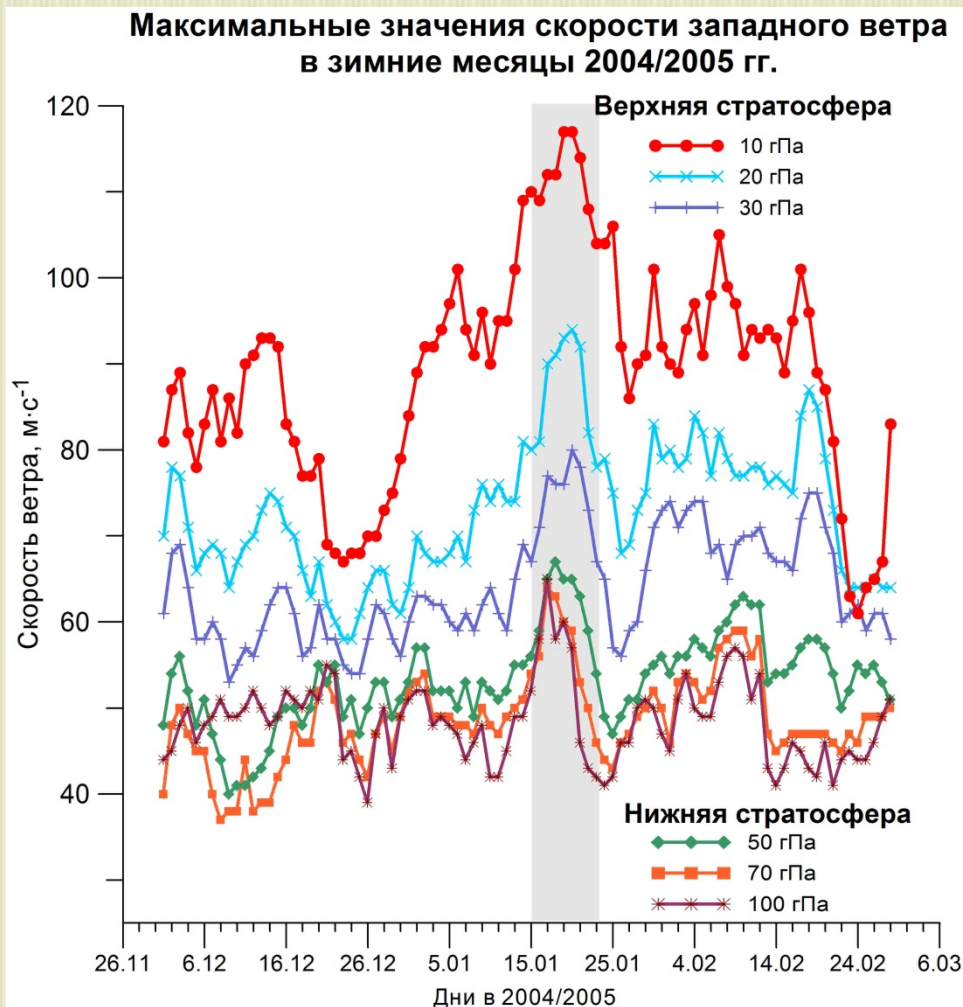
- **15, 16 и 17 января** – регистрировались потоки частиц с энергиями $E \sim 165-500$ МэВ (<http://spidr.ngdc.noaa.gov>), достигающие высот стратосферы. 17.01 - слабое GLE (Logachev et al., 2016)
- **20 января** – GLE (Ground Level Enhancement).



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.

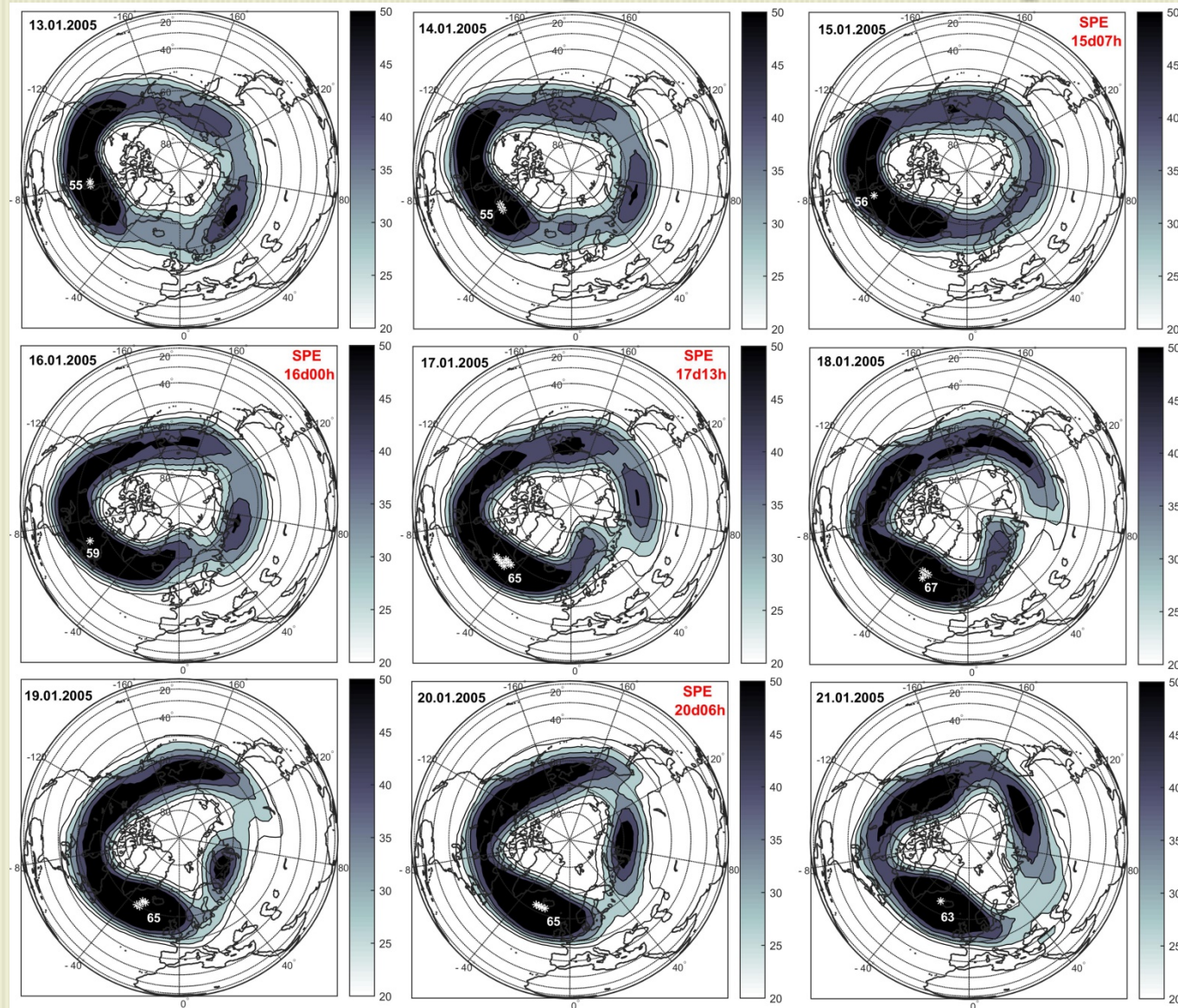


Увеличение максимальных значений скорости западного ветра U_{max} в стратосфере во время СПС января 2005 г. :

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

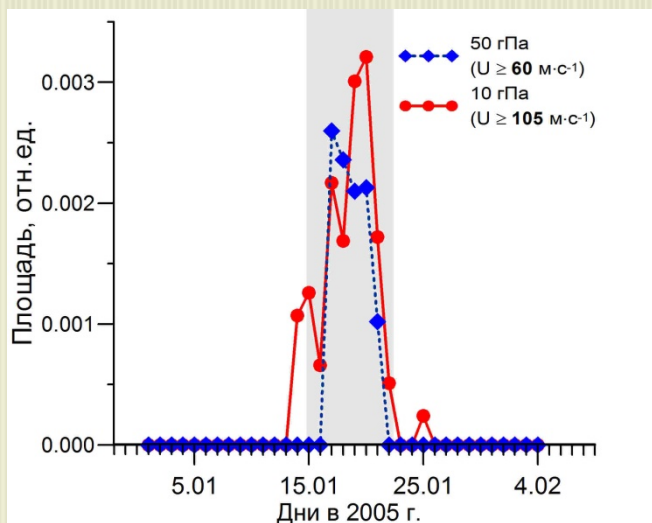
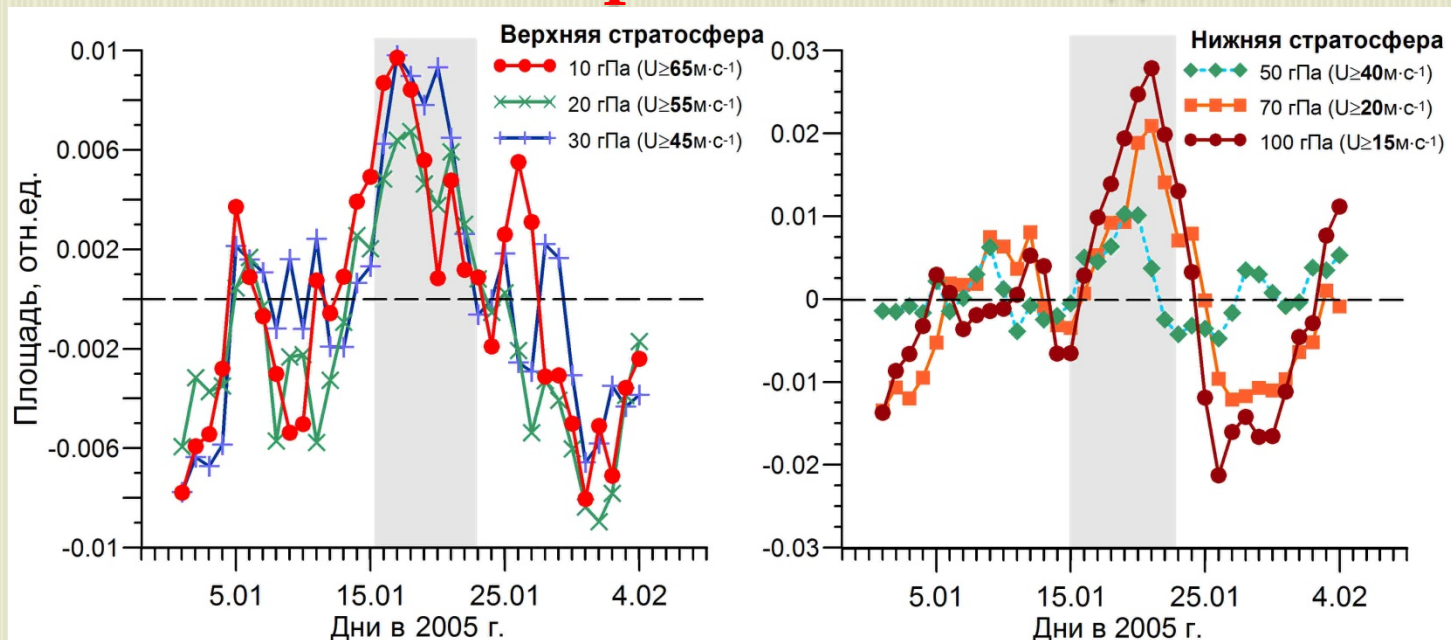
Изменения скорости западного ветра в стратосфере в период 13-21 января 2005 г.



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_{max} .

Изменения площади областей с высокими скоростями западного ветра

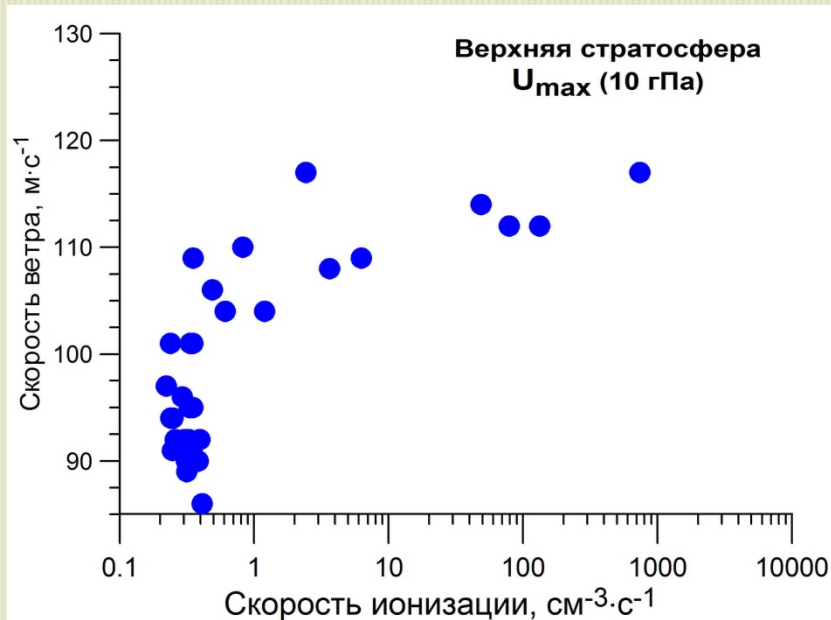


В период 15-23 января 2005 г. на всех уровнях стратосферы произошло **значительное увеличение площади областей, где скорость ветра достигала высоких значений**. Также возникали области со скоростями ветра, не наблюдавшимися до начала события (напр., на 50 гПа - выше $60 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$,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

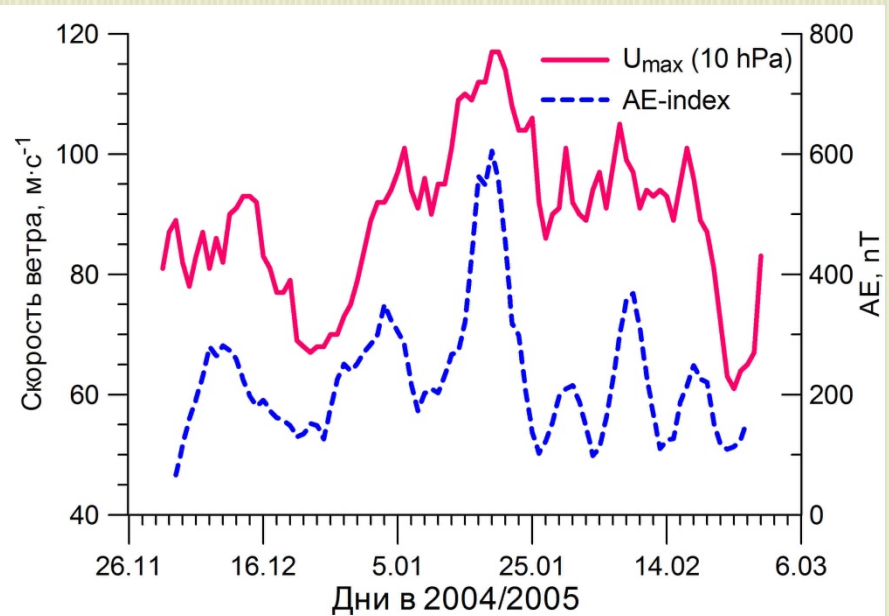
Таким образом, в ходе СПС января 2005 имело место **значительное усиление полярного вихря**.

- 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-HEPPA.



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

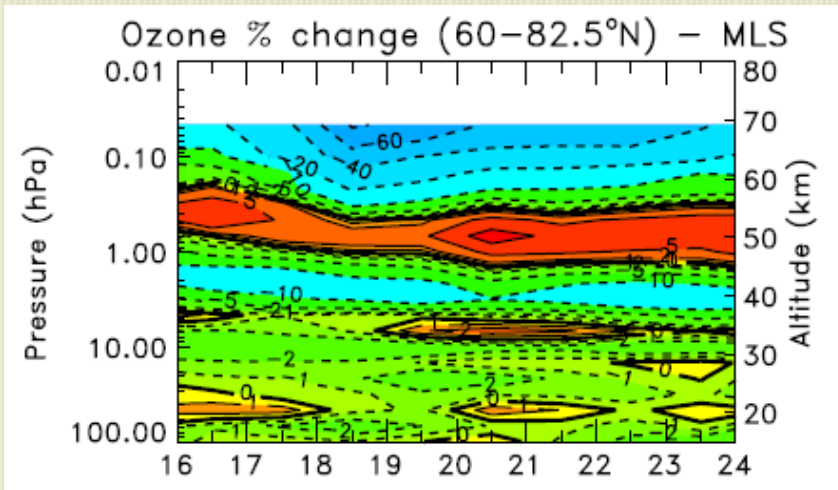
Рост интенсивности полярного вихря в январе 2005 года может быть связан с :

- **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_x, HO_x → 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 23rd 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.