

Озоновый слой, климат и энергичные частицы

E. Rozanov

СПБУ, Санкт-Петербург, Россия

e.rozanov@spbu.ru

PMOD/WRC, Davos, Switzerland

eugene.rozanov@pmodwrc.ch

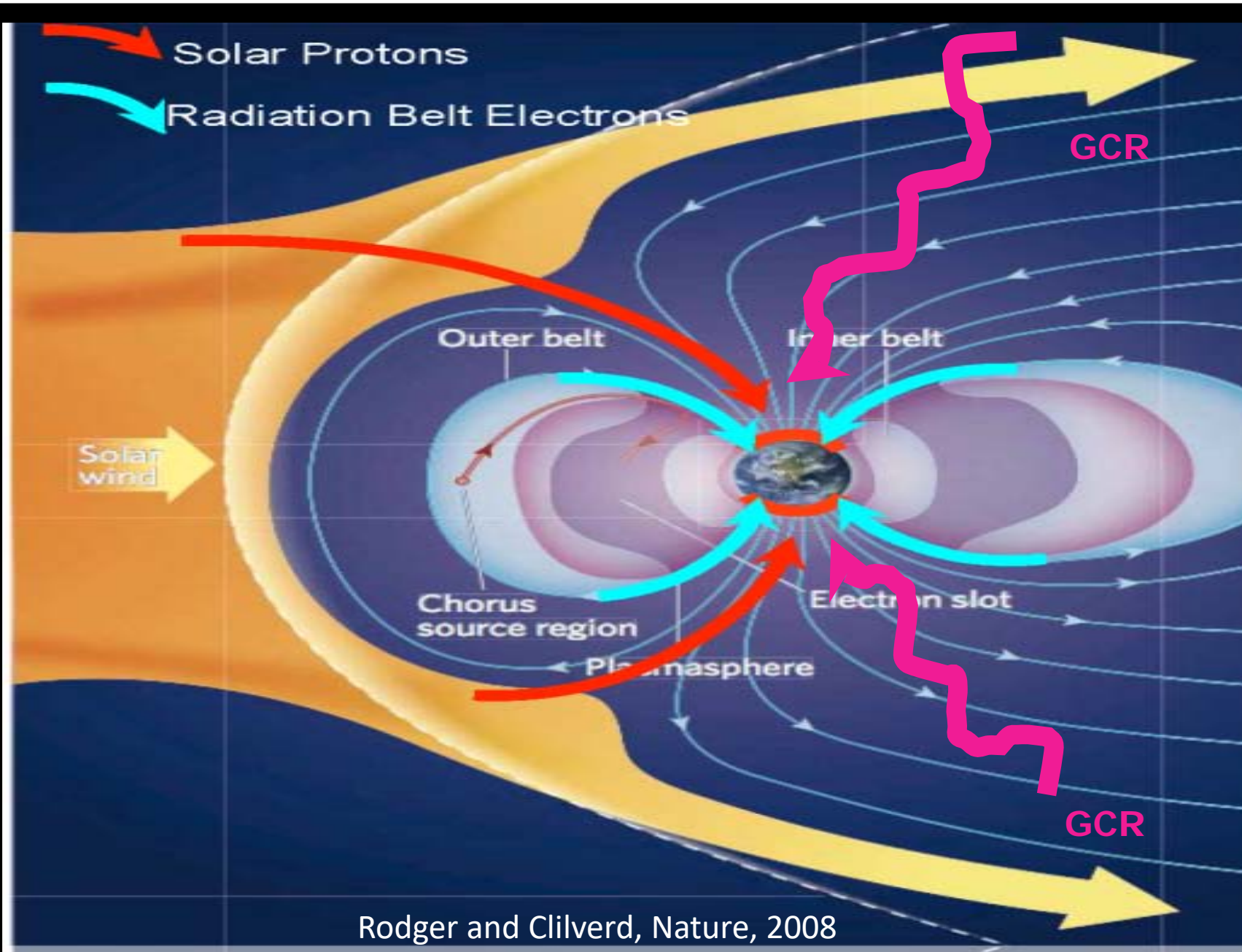


План лекции

- **Типы и свойства энергичных частиц**
- Ионизация, химия и перенос
- Влияние на озоновый слой
- Климатические эффекты
- Модуляция циркуляционным режимом
- Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)
- Заключение



Precipitating energetic particles



Energetic particles

Electrons:

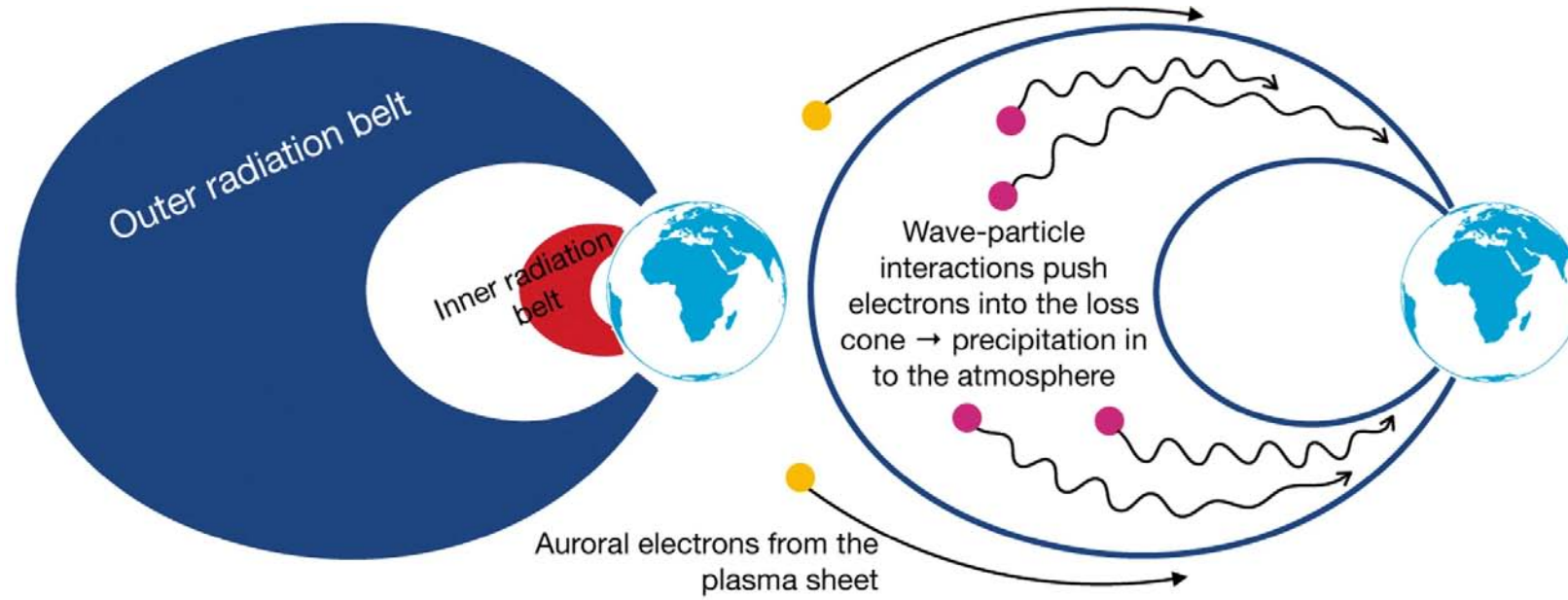
Auroral (<30 keV)
From plasma-sheat

Medium Energy (30-300 keV
and more)
From the Radiation Belts

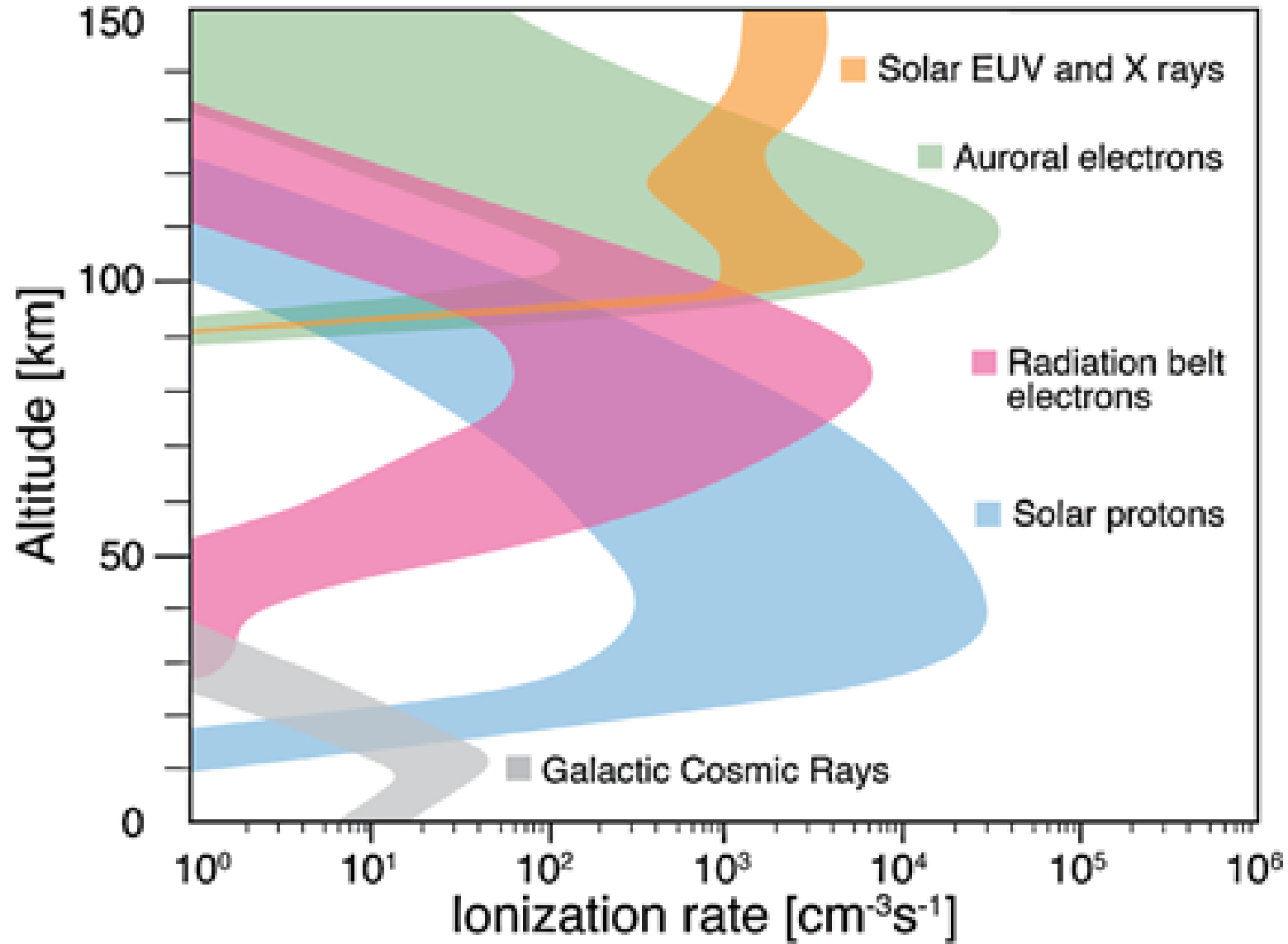
Solar Protons (up to 10 GeV)
From SME

Galactic cosmic rays (up to 3×10^{20} eV)
From outside to everywhere

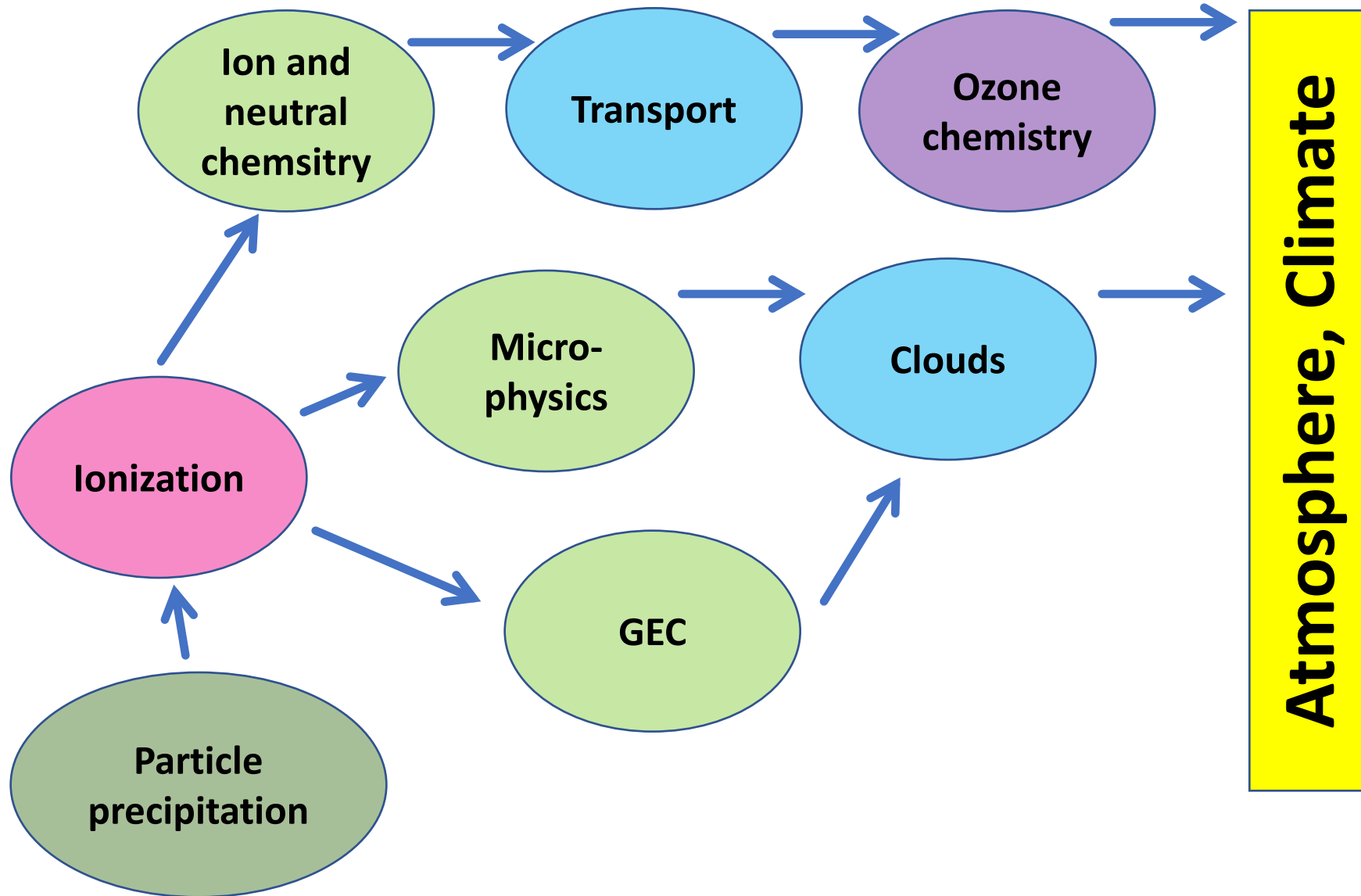
Energetic particles



Energetic particles



Processes

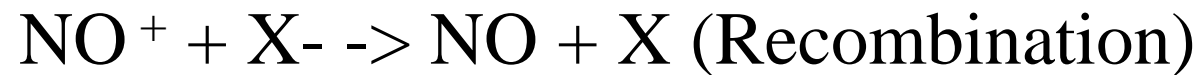
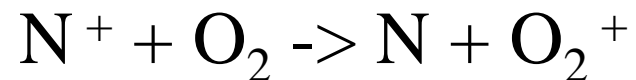
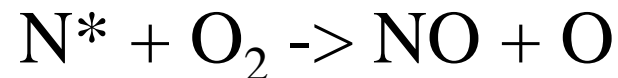
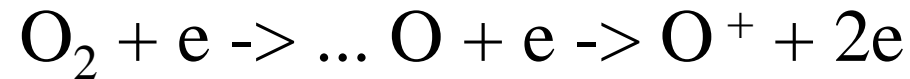
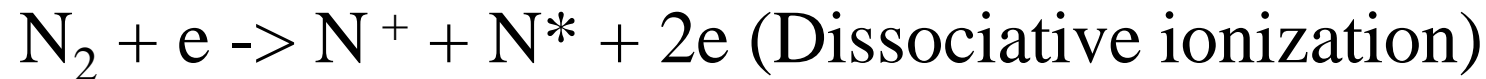
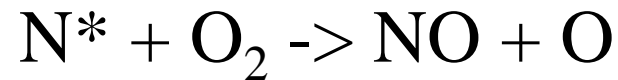
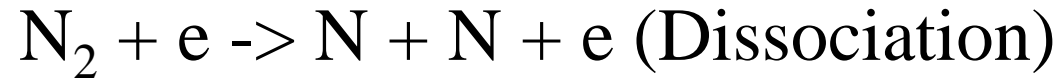
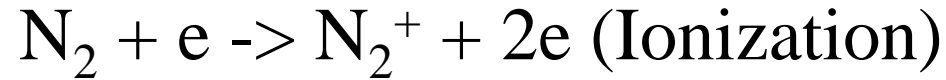


План лекции

- Типы и свойства энергичных частиц
- **Ионизация, химия и перенос**
- Влияние на озоновый слой
- Климатические эффекты
- Модуляция циркуляционным режимом
- Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)
- Заключение

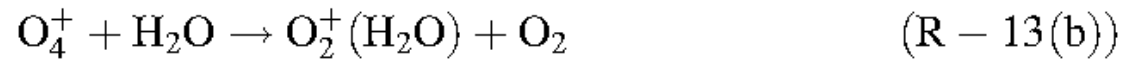


NO_x production/destruction

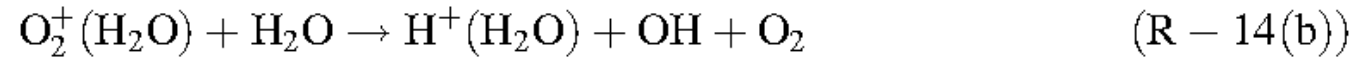
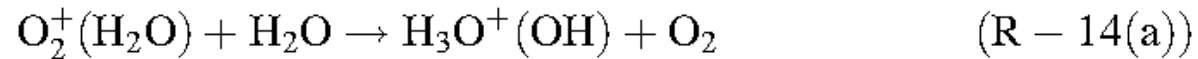


HO_x production by energetic particles

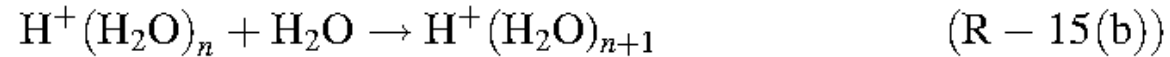
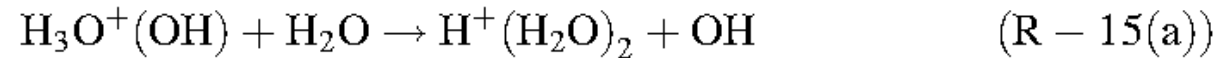
Ionization by particles below 90 km leads to the enhancement of HO_x via



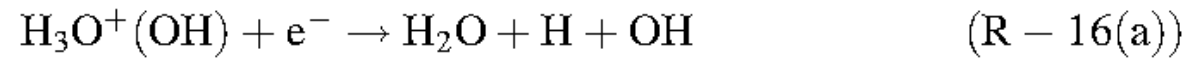
Larger cluster ions can then be formed by reaction pathways like:



Those can then be followed by the formation of larger protonised water cluster ions, like



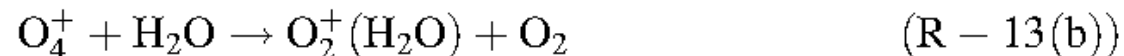
During all these reaction chains, recombination reactions with electrons can take place:



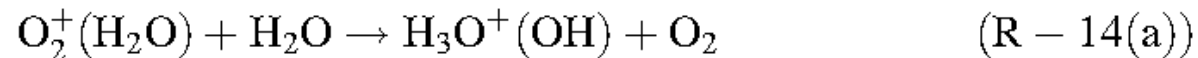
From Sinnhuber et al., 2012

HO_x production by energetic particles

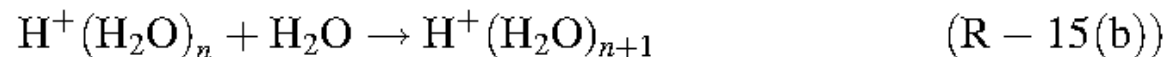
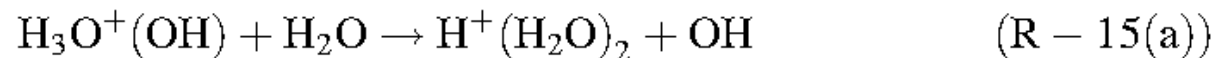
Ionization by particles below 90 km leads to the enhancement of HO_x via



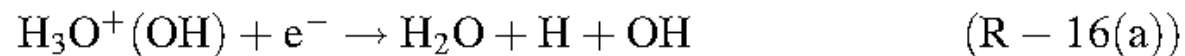
Larger cluster ions can then be formed by reaction pathways like:



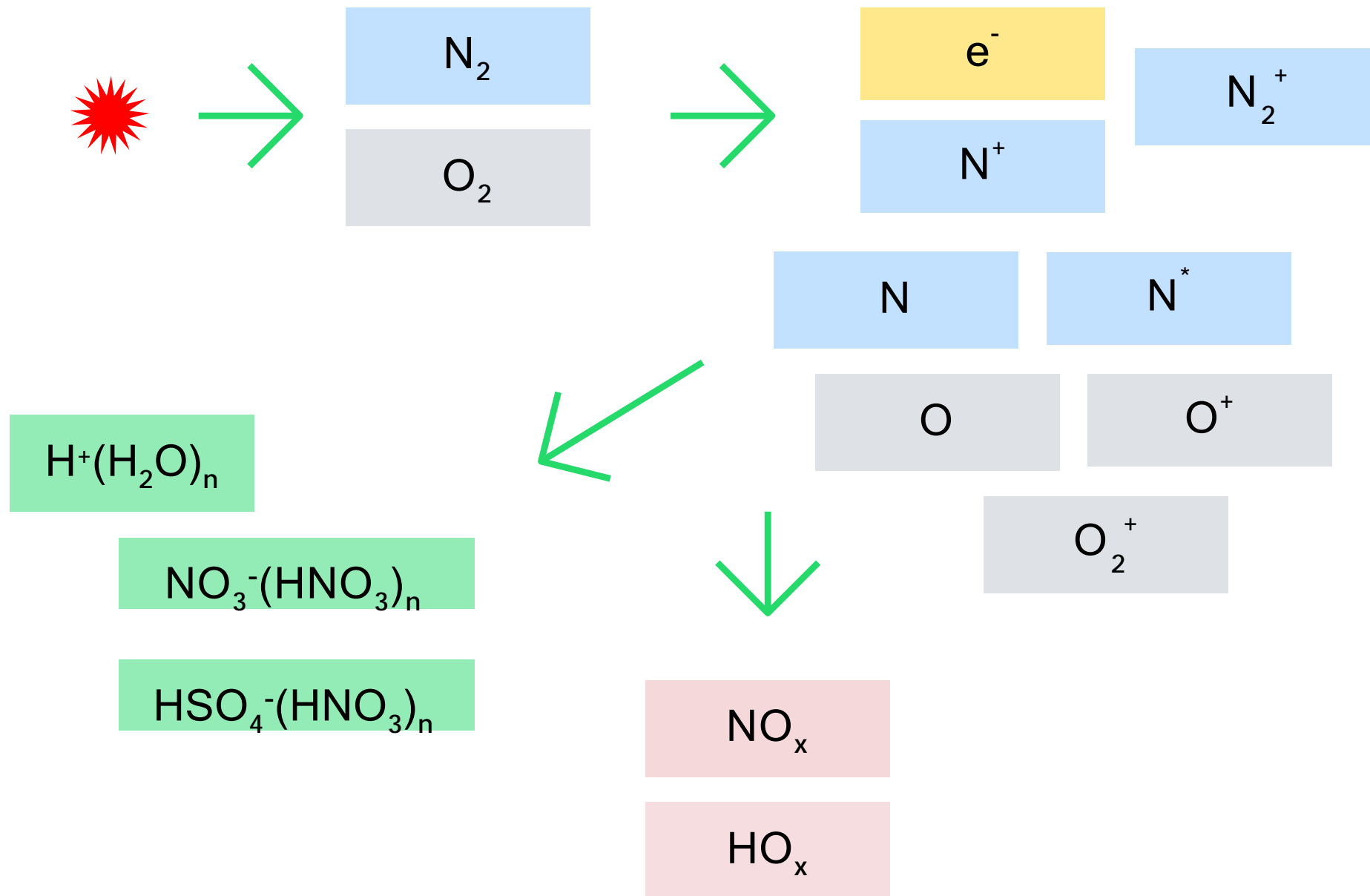
Those can then be followed by the formation of larger protonised water cluster ions, like



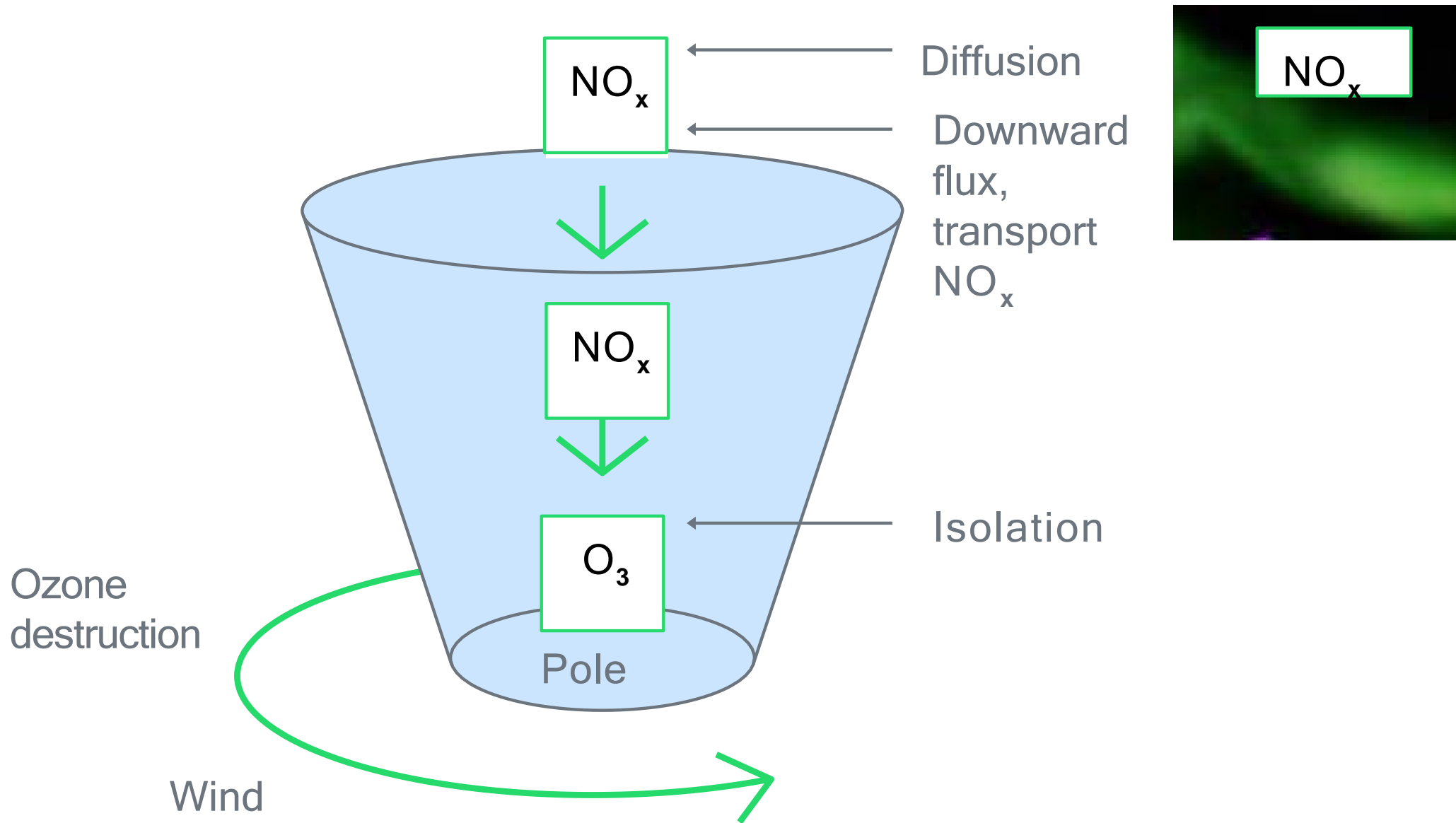
During all these reaction chains, recombination reactions with electrons can take place:



Particles and active radicals

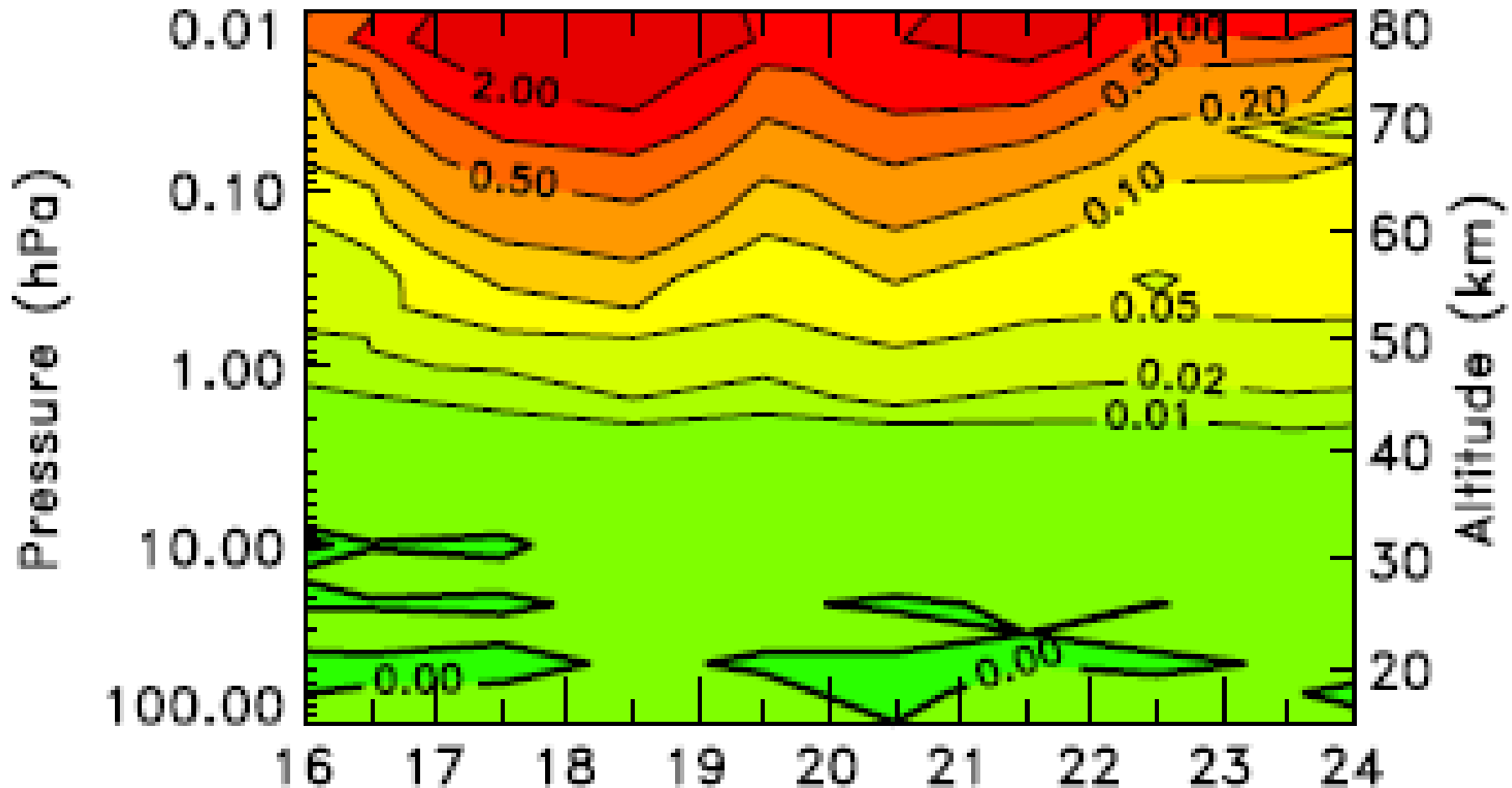


Downward propagation



Production and downward transport of HO_x

OH ppbv change (60–82.5°N) – MLS

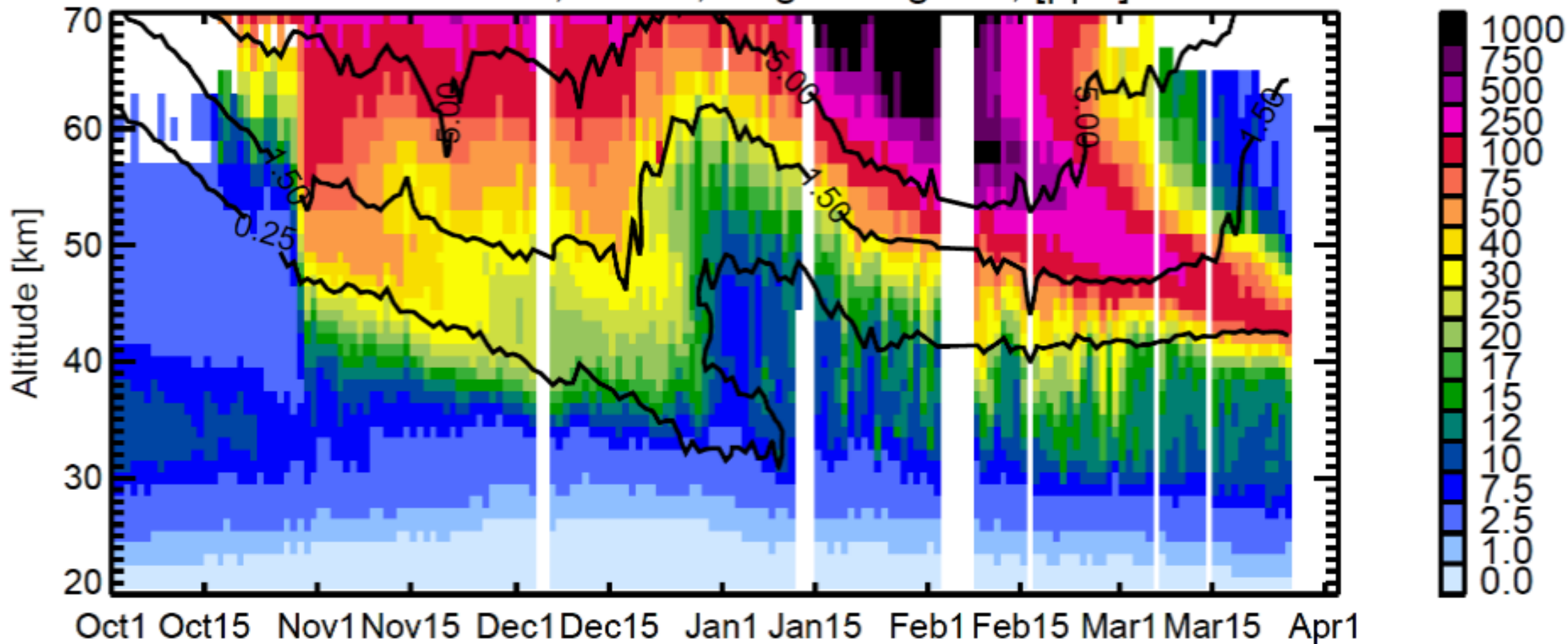


January 2005
Jackman et al., 2011

Funke et al., 2017

Production and downward transport of NO_x

MIPAS NO_x, vortex, all geomag lats, [ppb]



Nieder et al., 2011

Funke et al., 2017

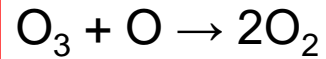
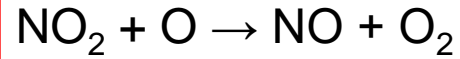
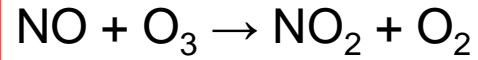
План лекции

- Типы и свойства энергичных частиц
- Ионизация, химия и перенос
- **Влияние на озоновый слой**
- Климатические эффекты
- Модуляция циркуляционным режимом
- Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)
- Заключение

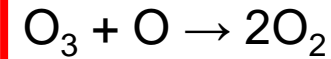
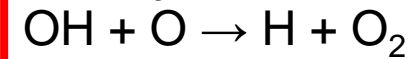
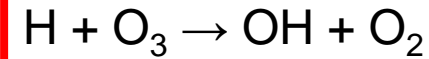
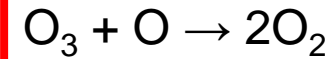
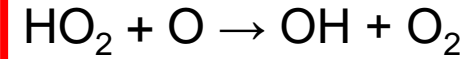
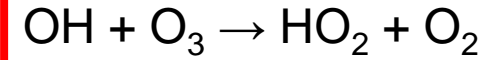


Chain reactions of stratospheric ozone depletion

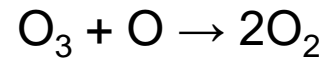
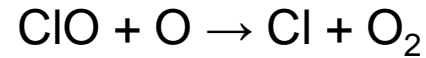
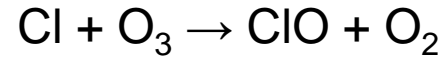
Nitrogen:



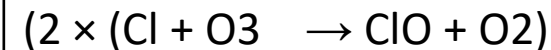
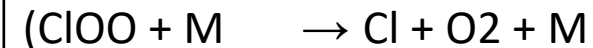
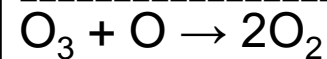
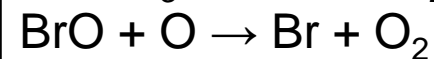
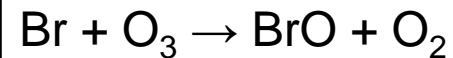
Hydrogen:



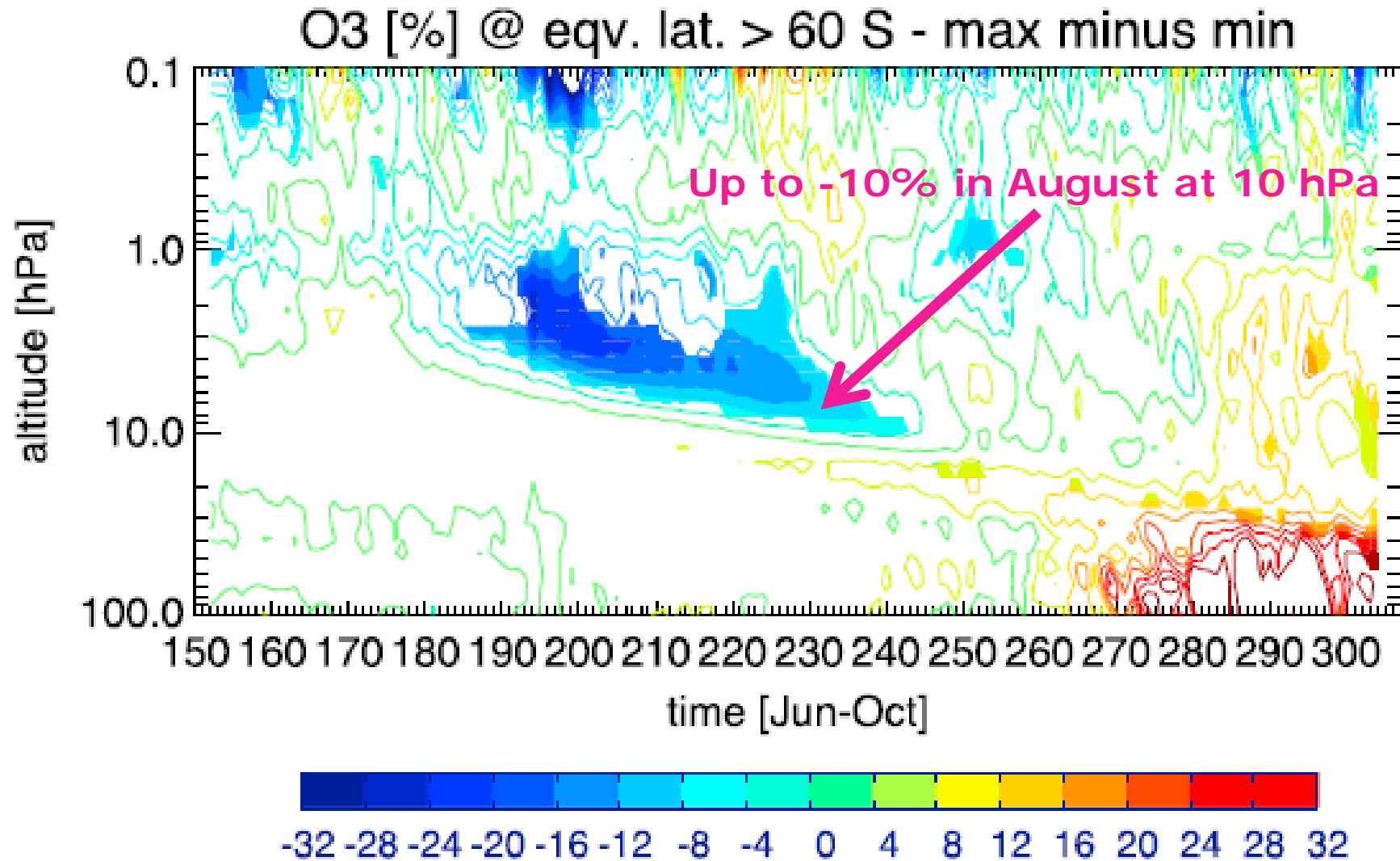
Chlorine:



Bromine:

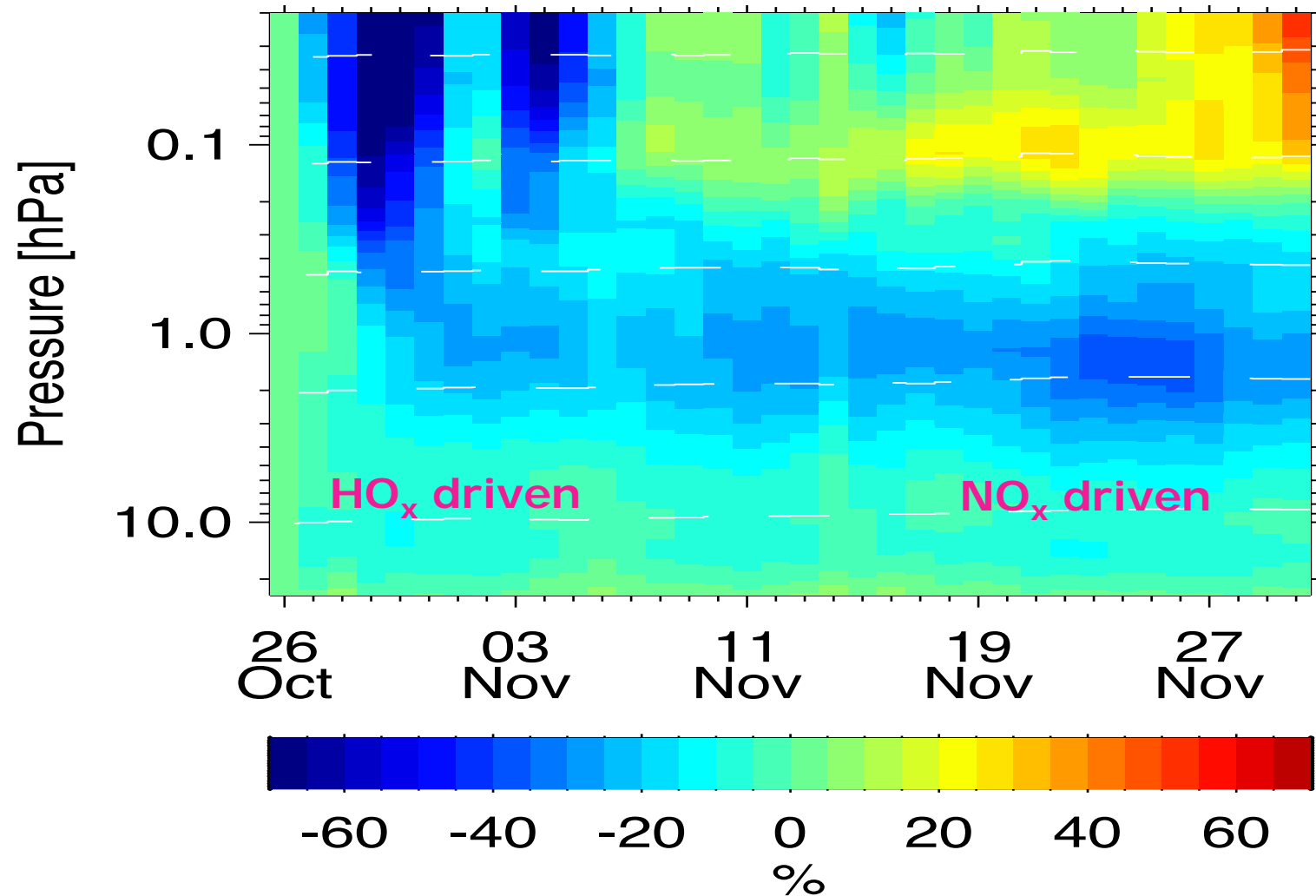


Decadal scale, stratospheric polar ozone



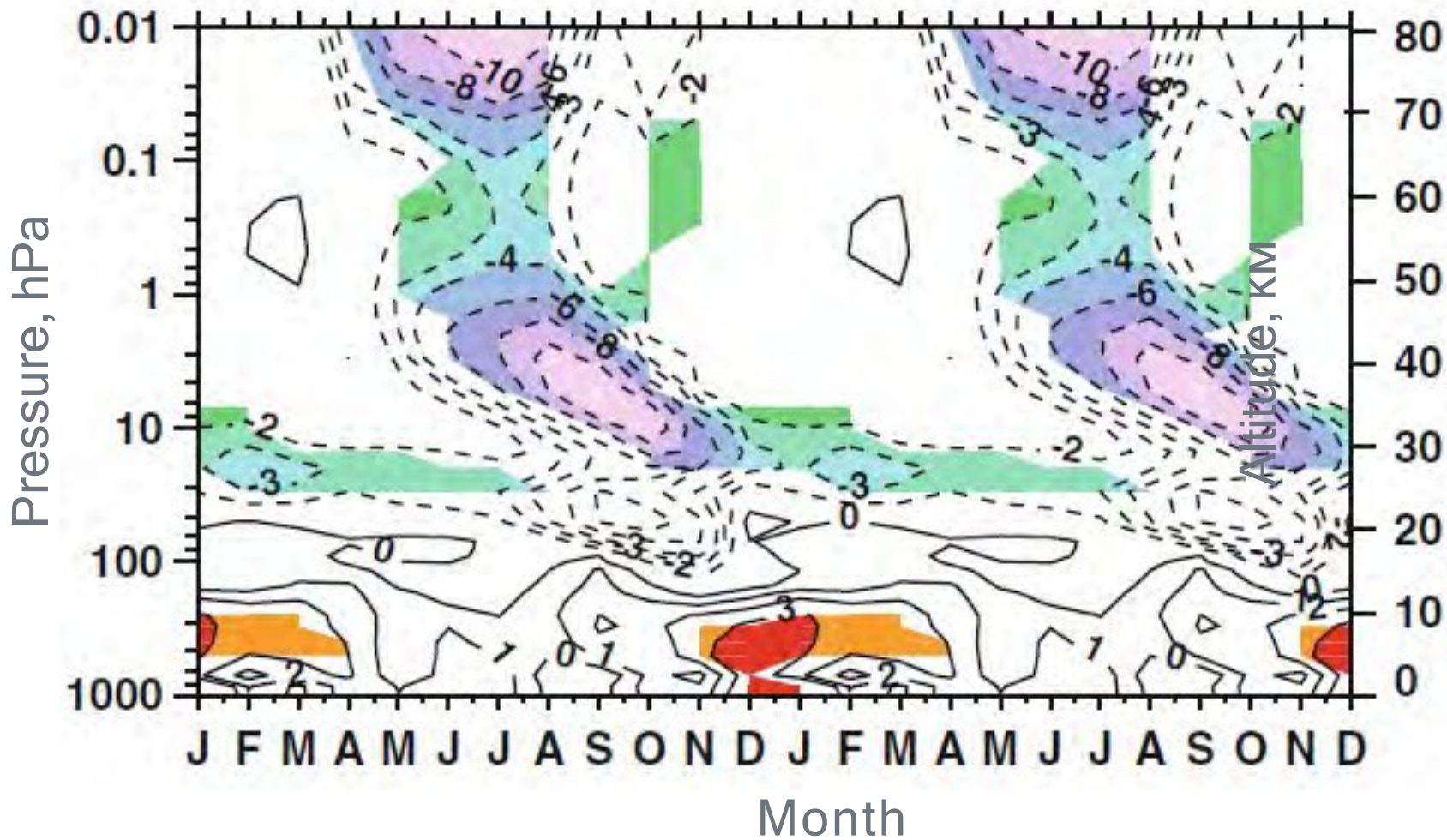
High Ap – Low Ap composite, Damiani et al. (2016)

SPE effects on the atmosphere



Temporal evolution of relative O₃ changes with respect to 26 October 2003 in MIPAS observations averaged over 70°–90° N. Figure is reproduced from **Funke et al. (2011)**.

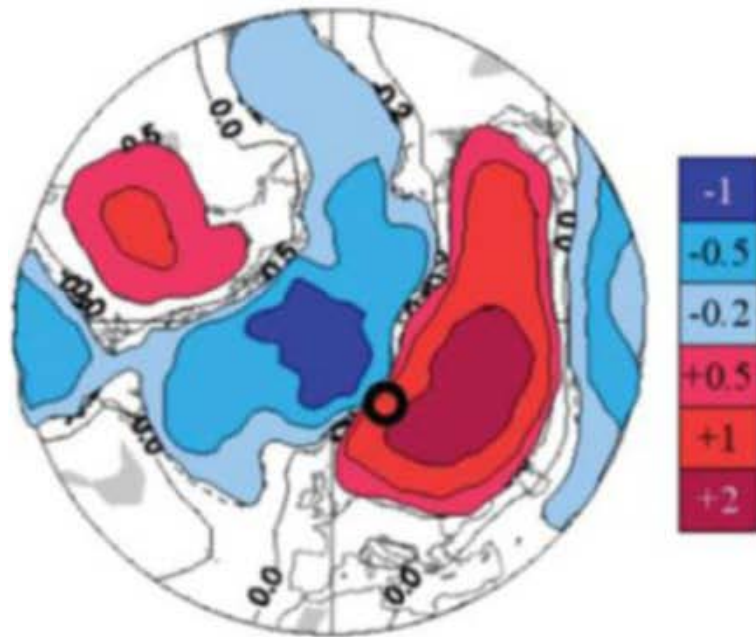
Ozone depletion due to EEP



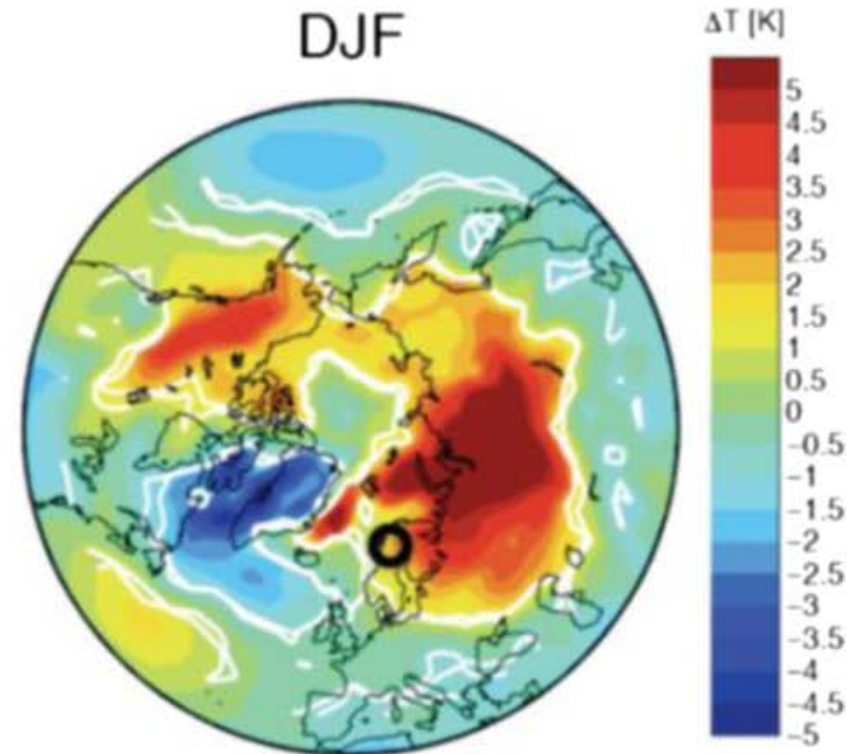
План лекции

- Типы и свойства энергичных частиц
- Ионизация, химия и перенос
- Влияние на озоновый слой
- **Климатические эффекты**
- Модуляция циркуляционным режимом
- Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)
- Заключение

EPP and surface climate

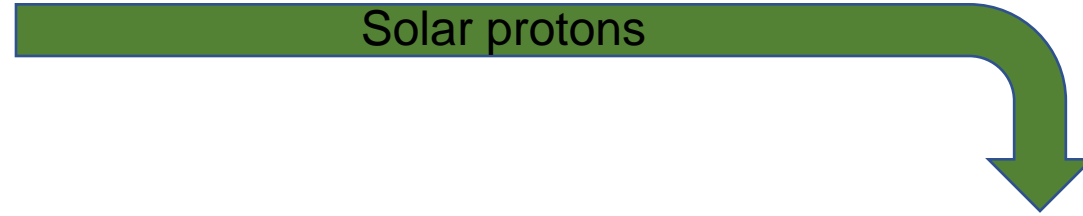
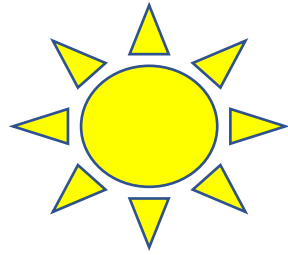


Surface air temperature changes in the northern winter hemisphere from model calculation including energetic electron precipitation (Rozanov et al. 2005).



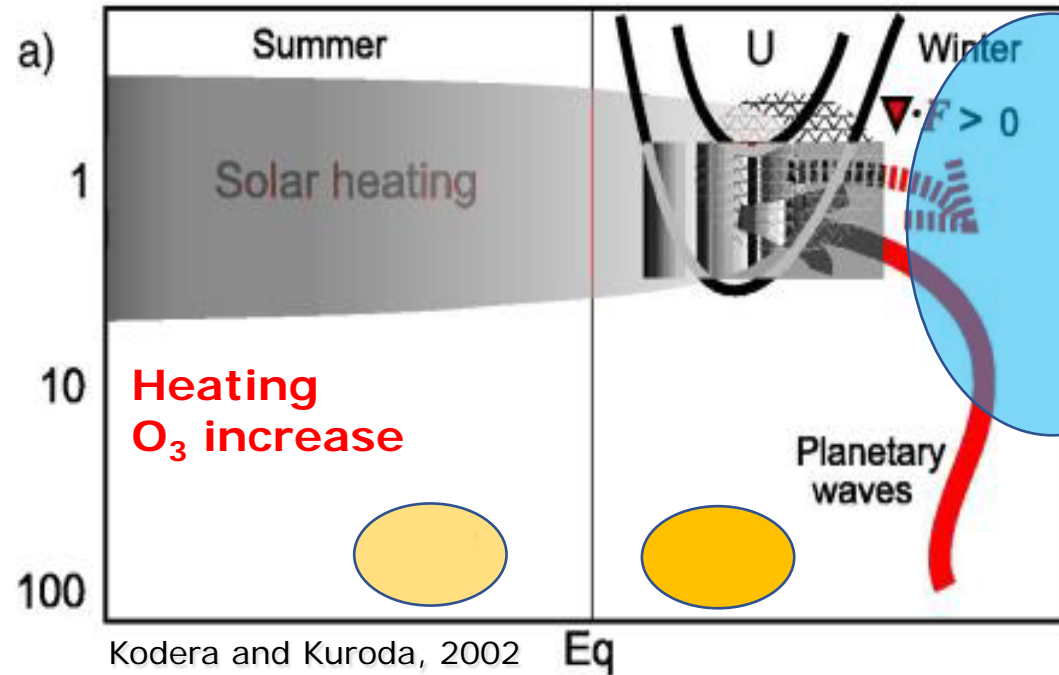
Difference between surface air temperatures for the high Ap (geomagnetic activity index) minus low Ap years from 1957 to 2006 (Seppälä et al. 2009).

Solar forcing and atmospheric response



Magnetosphere

Electrons



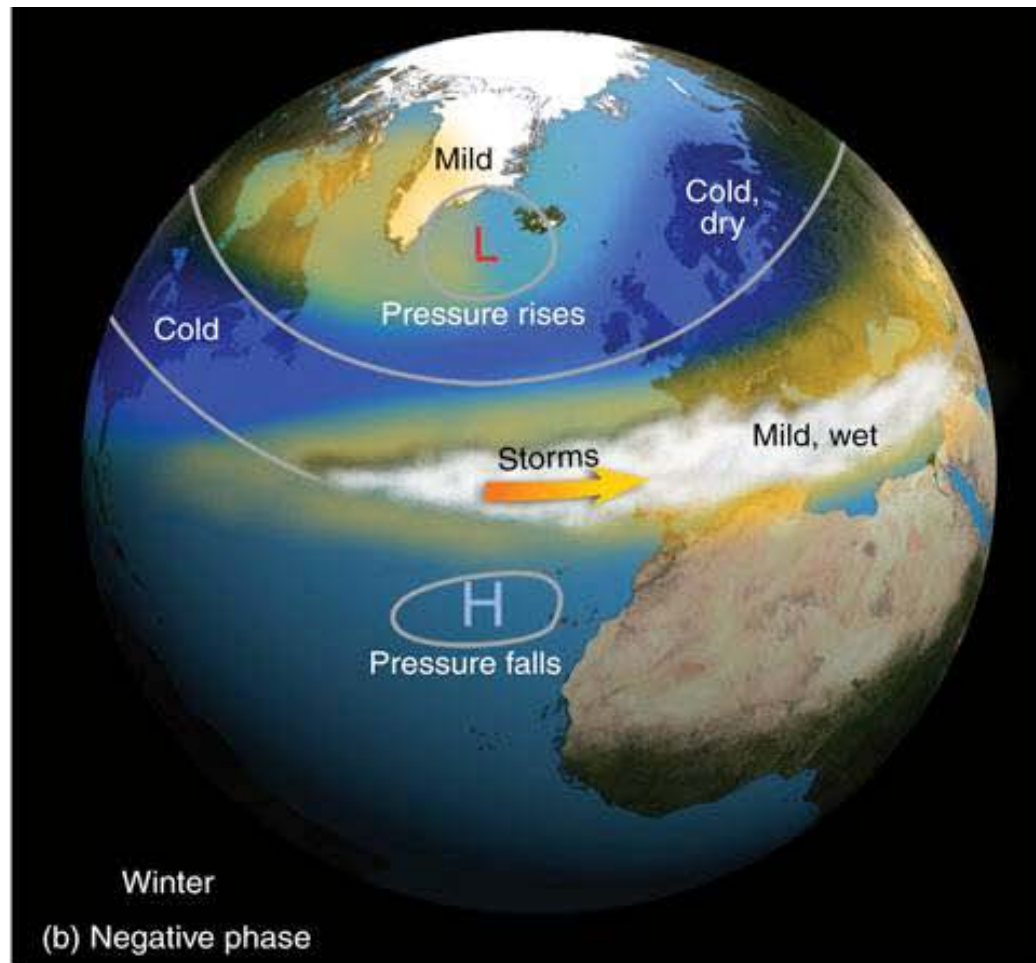
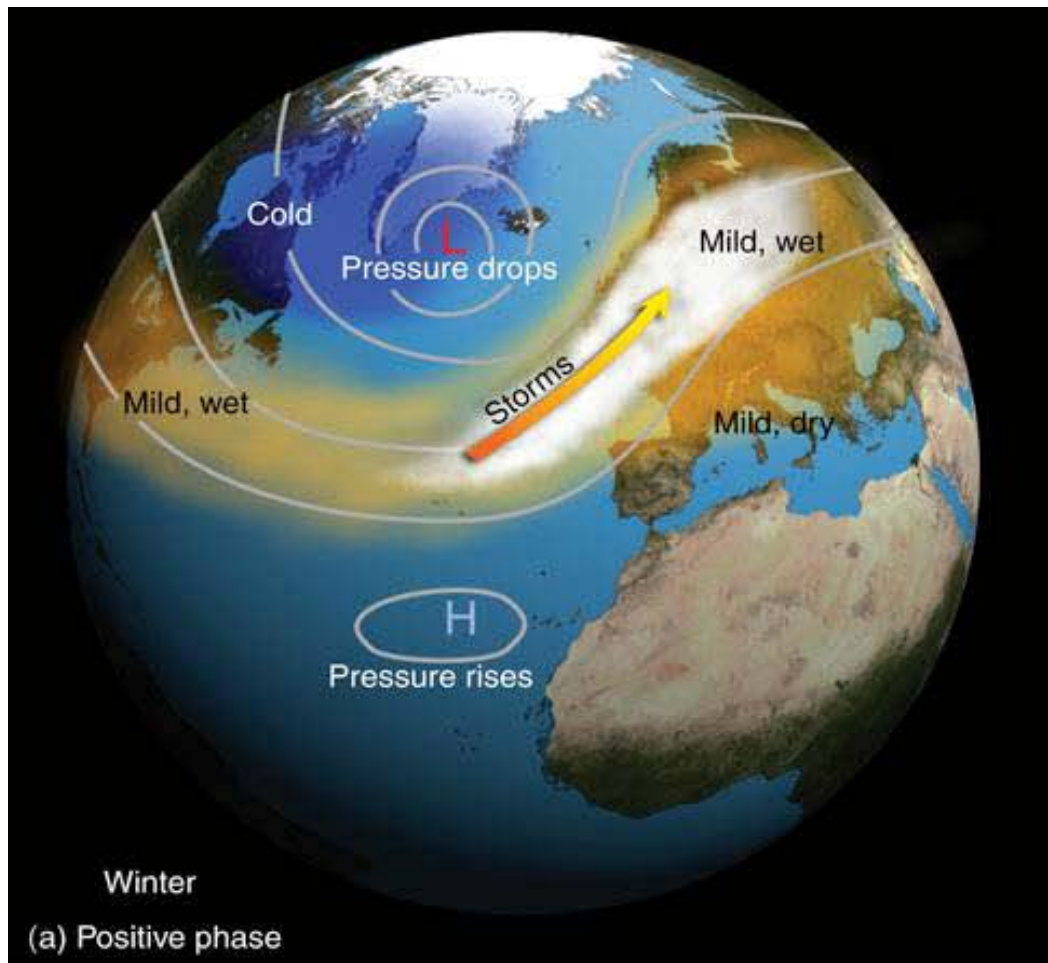
Surface warming

Regional surface warming during cold seasons

North Atlantic Oscillation

Stronger vortex

Weaker vortex

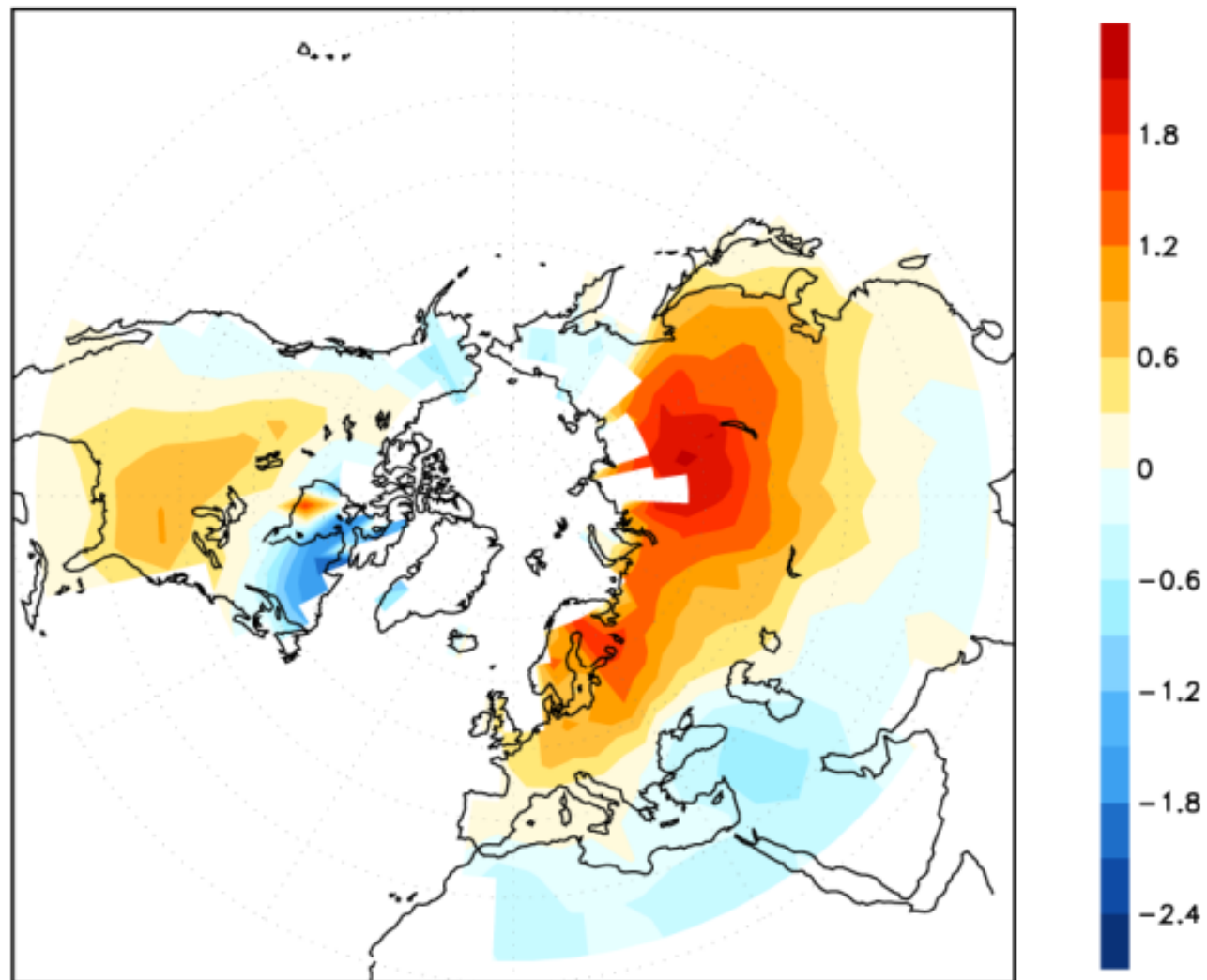


(a) Positive phase

(b) Negative phase

© 2007 Thomson Higher Education

SAT anomalies during positive AO/NAO

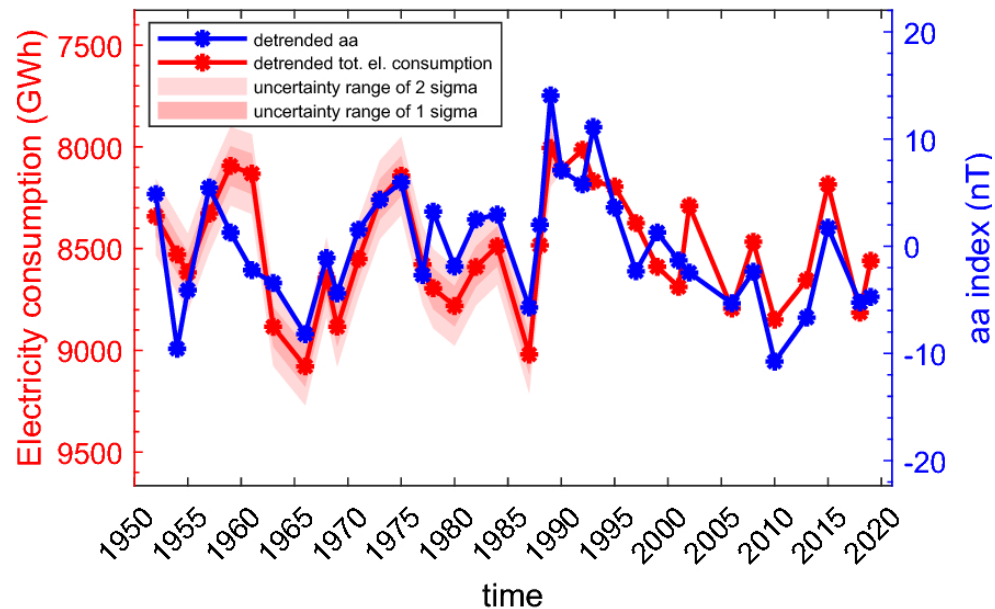


Thomson & Wallace (1998)

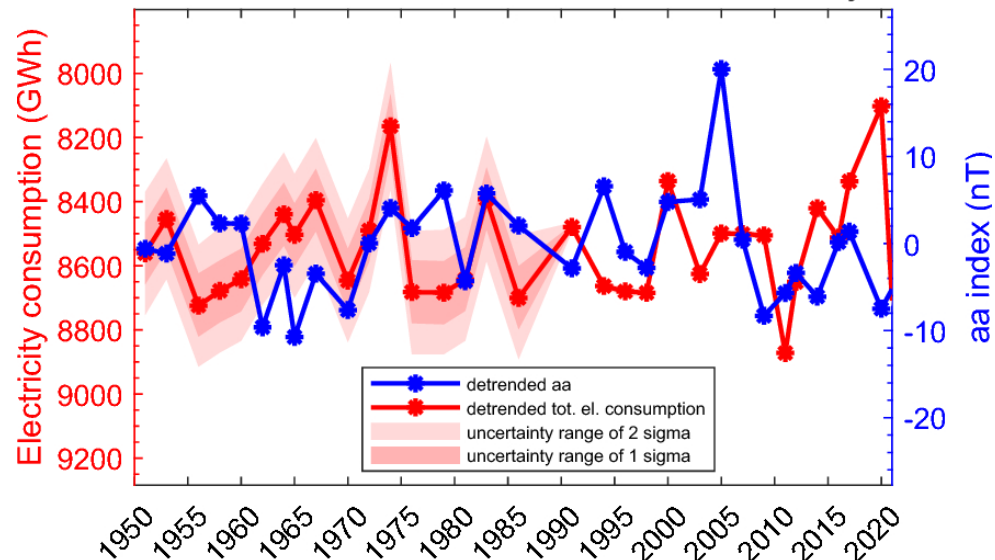
План лекции

- Типы и свойства энергичных частиц
- Ионизация, химия и перенос
- Влияние на озоновый слой
- Климатические эффекты
- Модуляция циркуляционным режимом
- Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)
- Заключение

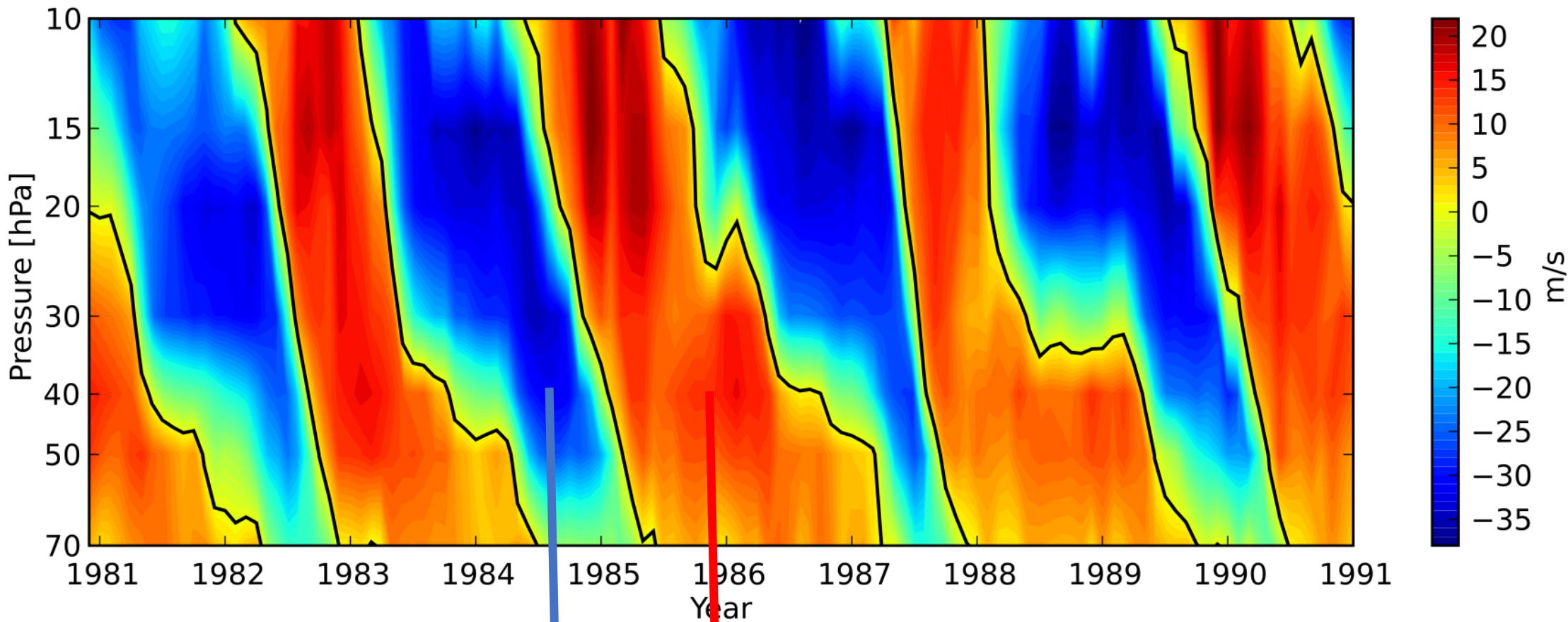
EEP and electricity consumption in Scandinavia



Finland's detrended, normalized total electricity consumption



Tropical zonal wind

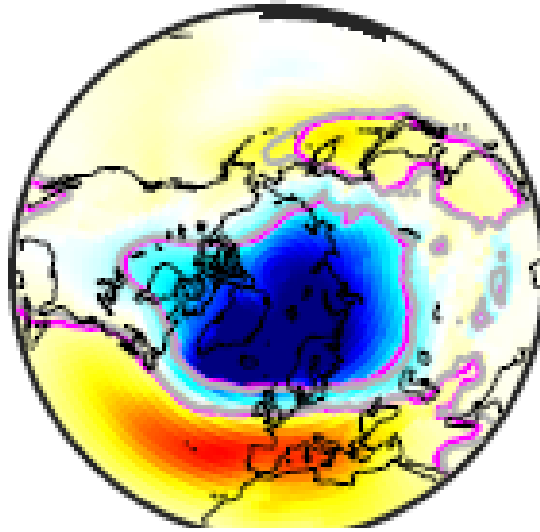


Week PNJ

Strong PNJ

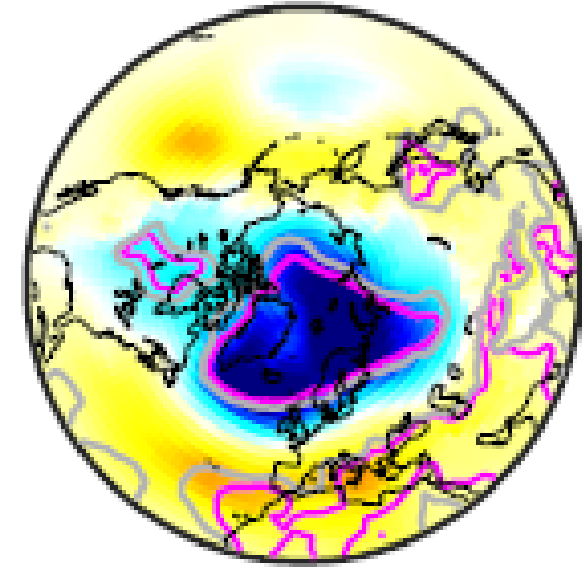
Surface temperature link to AA modulated by QBO

$r=0.98$
 $p=1.0e-04$



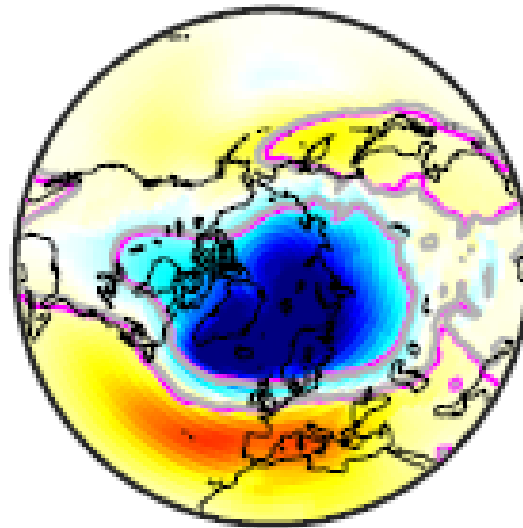
QBO-E

$r=-0.21$
 $p=0.37$

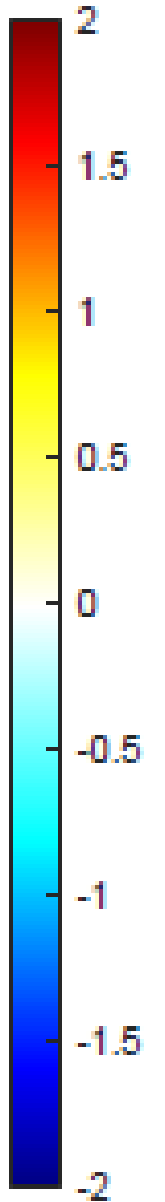


QBO-W

$r=0.87$
 $p=1.0e-04$



All years



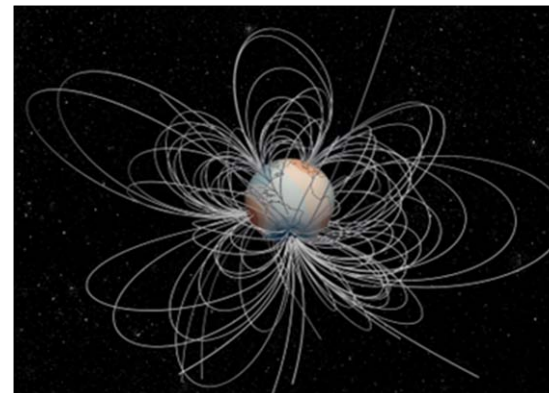
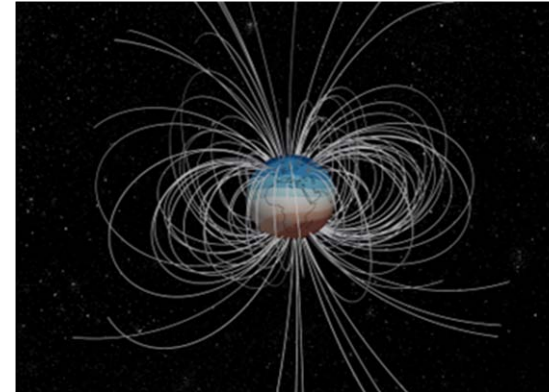
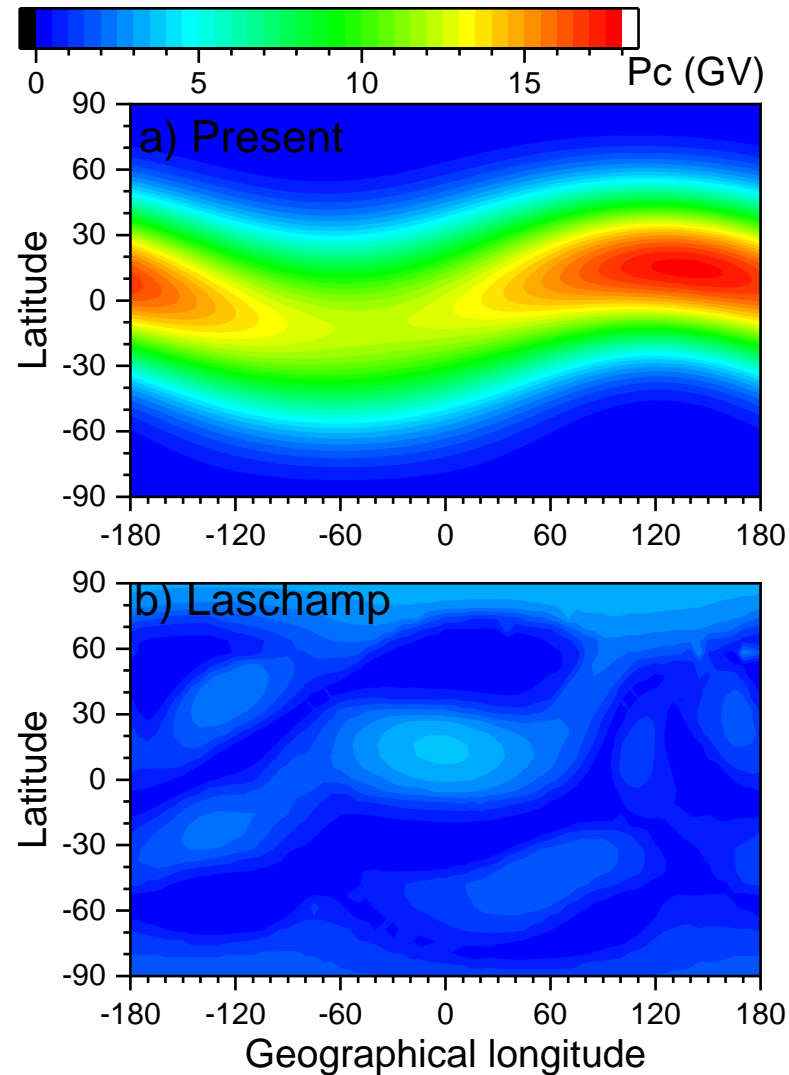
План лекции

- Типы и свойства энергичных частиц
- Ионизация, химия и перенос
- Влияние на озоновый слой
- Климатические эффекты
- Модуляция циркуляционным режимом
- **Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)**
- Заключение



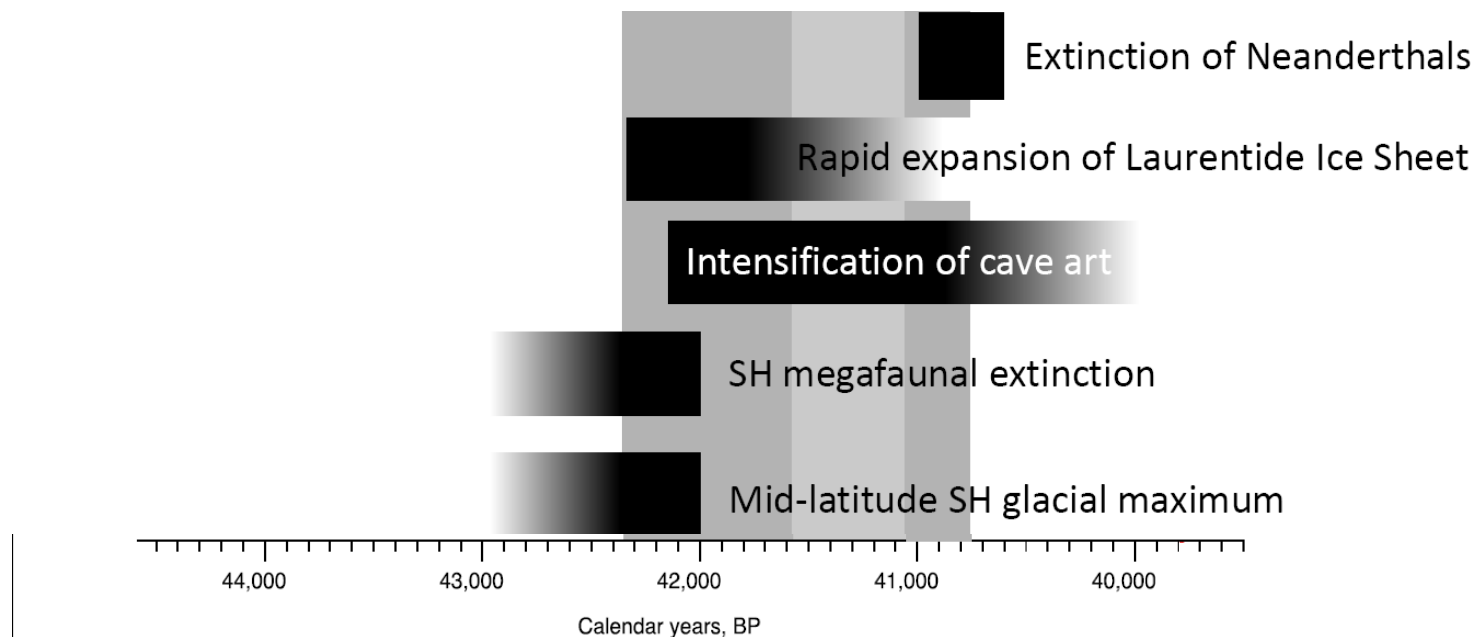
Какие процессы угрожают озону:

Перестройка геомагнитного поля



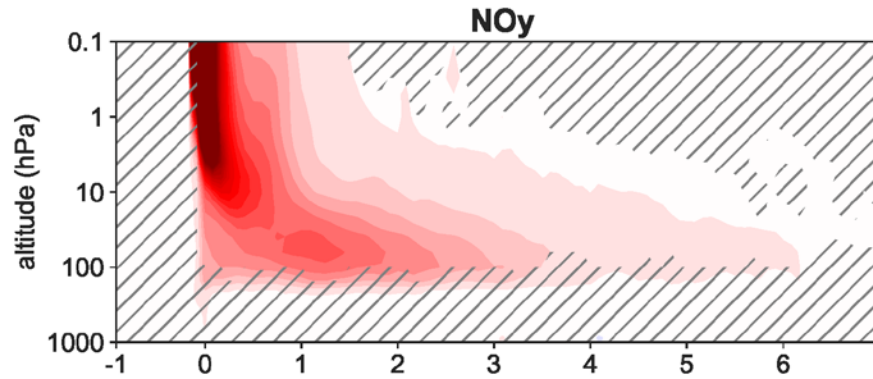
Geomagnetic field for the modern epoch (IGRF, 2015) and preliminary result for the *Laschamp* event (Panovska et al., 2021).

Какие процессы угрожают озону: Перестройка геомагнитного поля

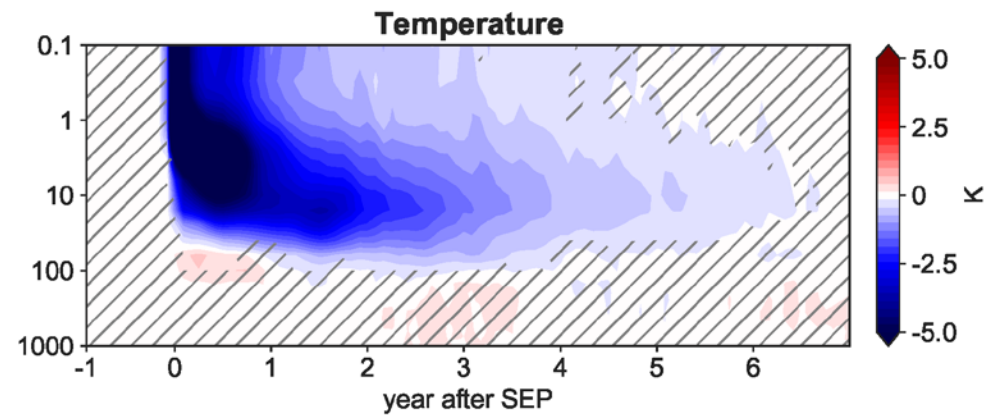
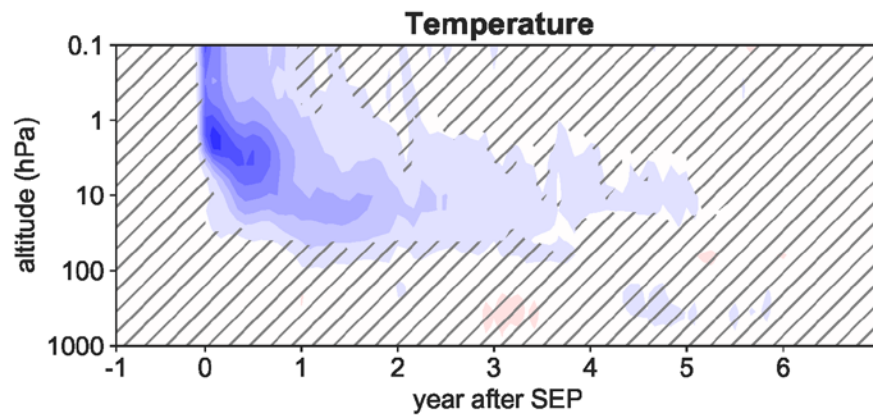
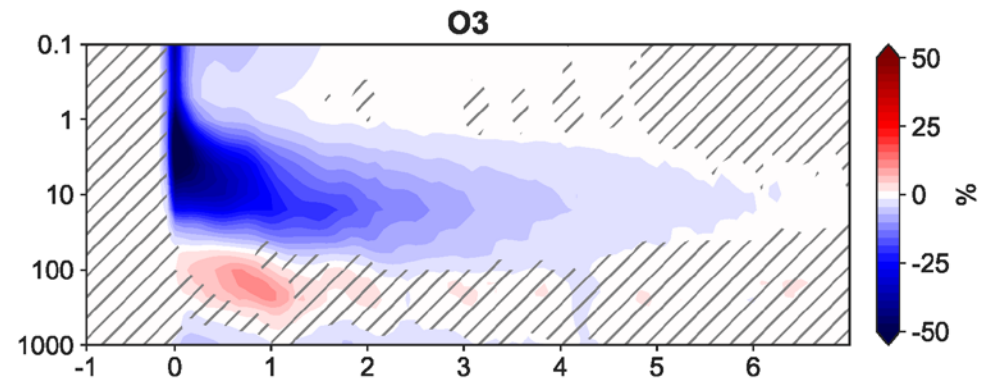
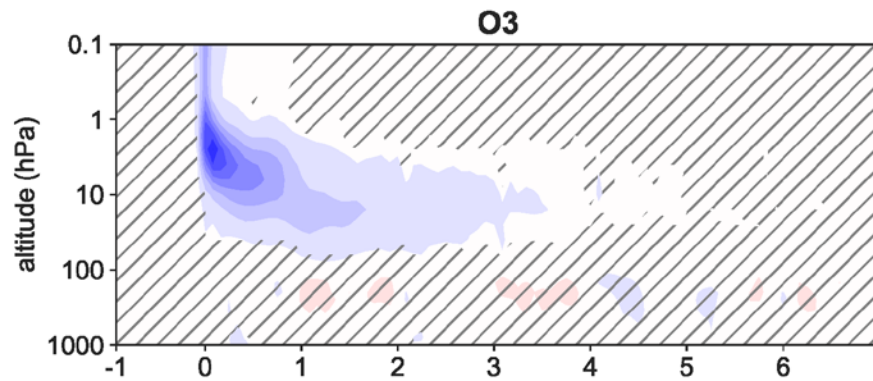
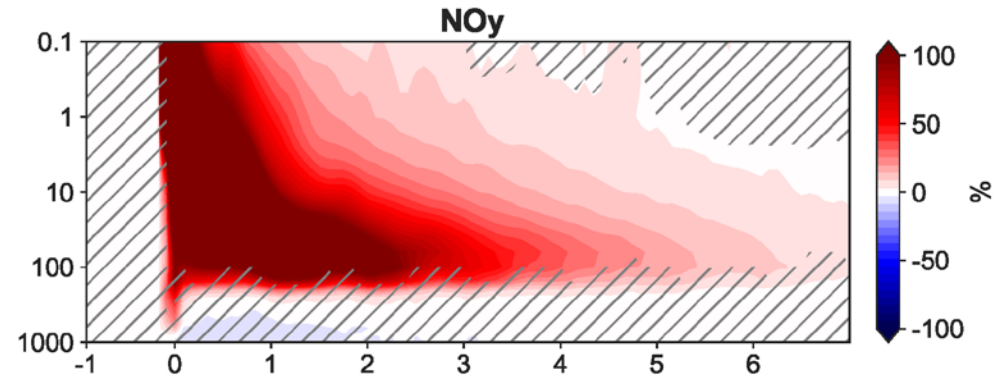


Geomagnetic dipole moment DM (Korte et al., 2019) and environmental changes around the Laschamp event (Cooper et al., 2021).

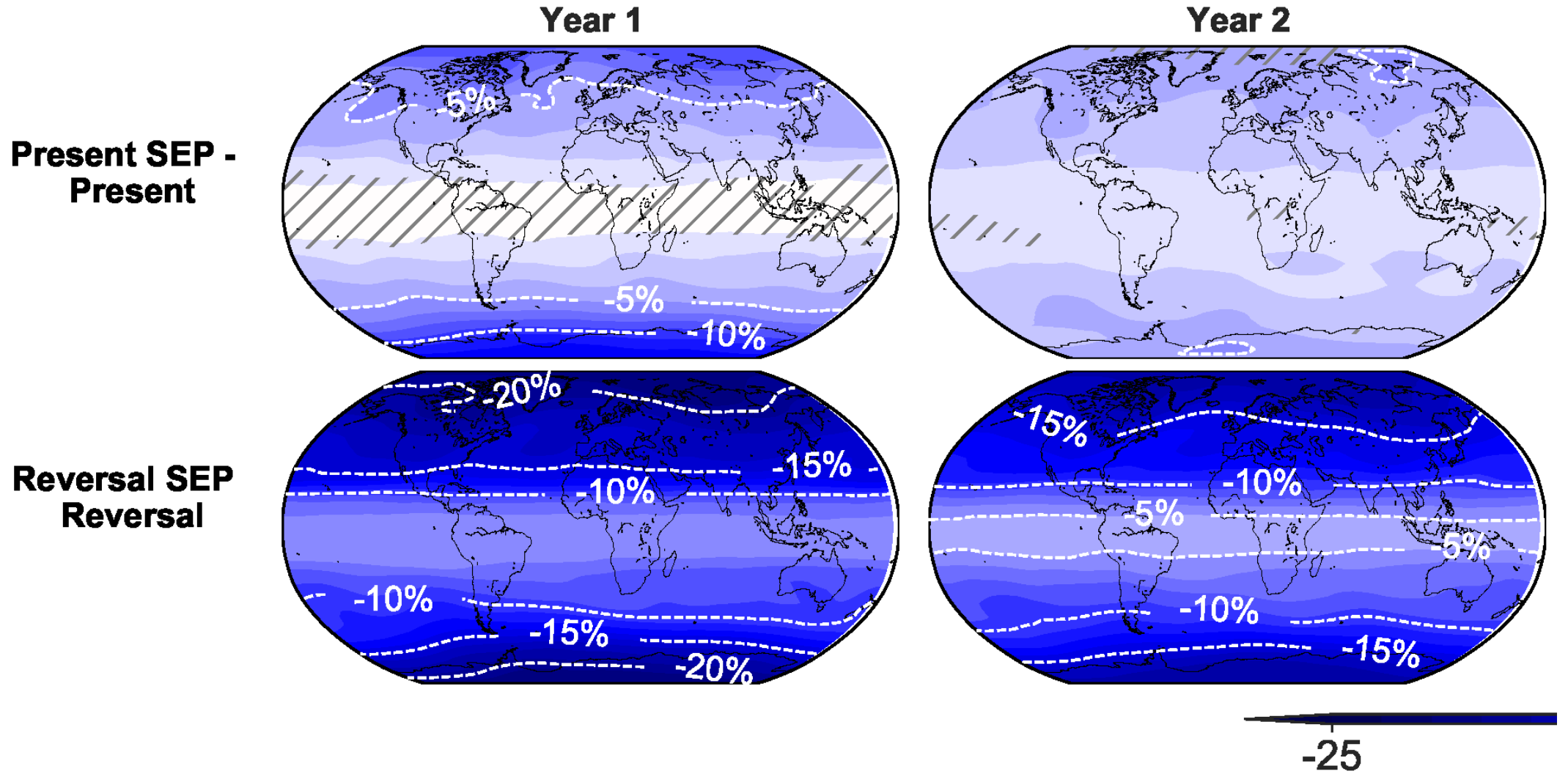
Present SEP - Present



Reversal SEP - Reversal

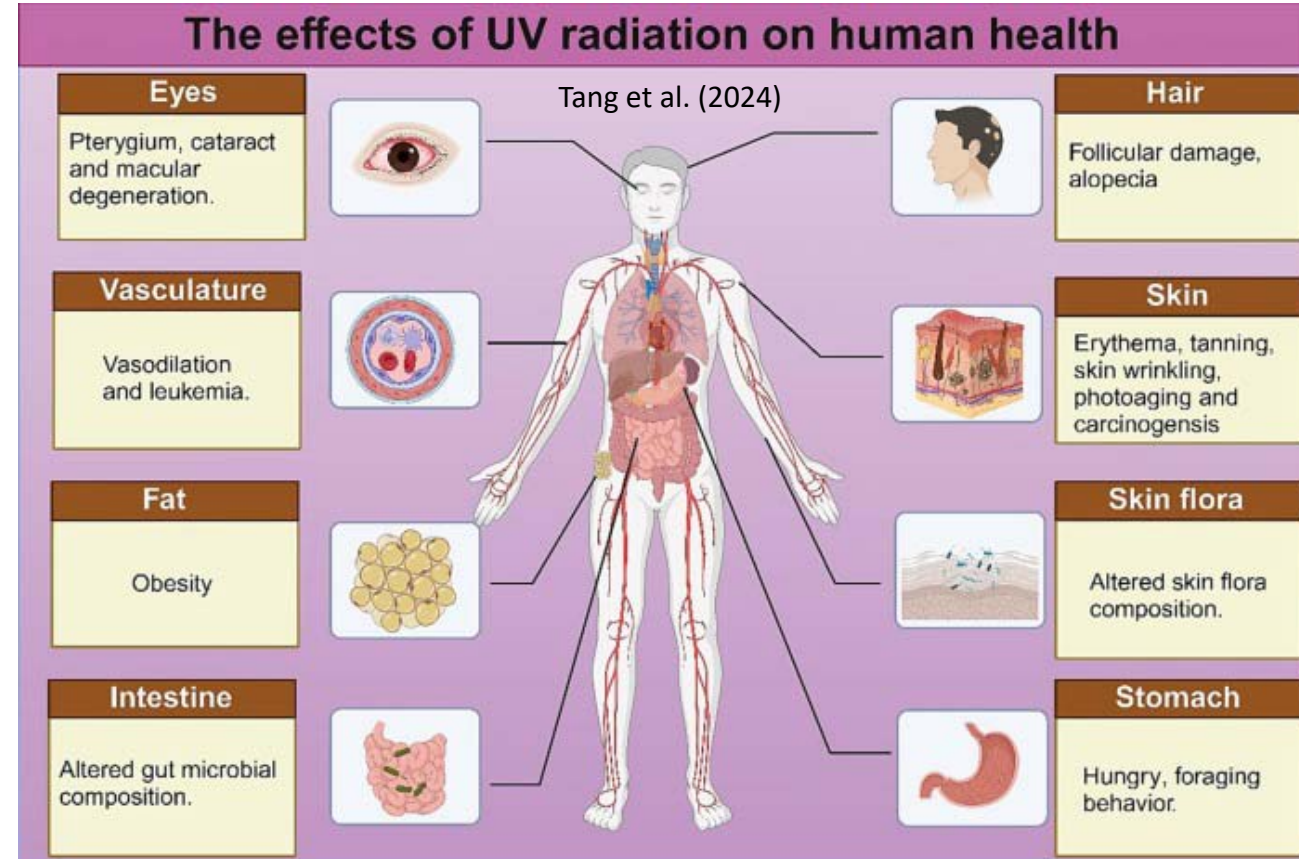
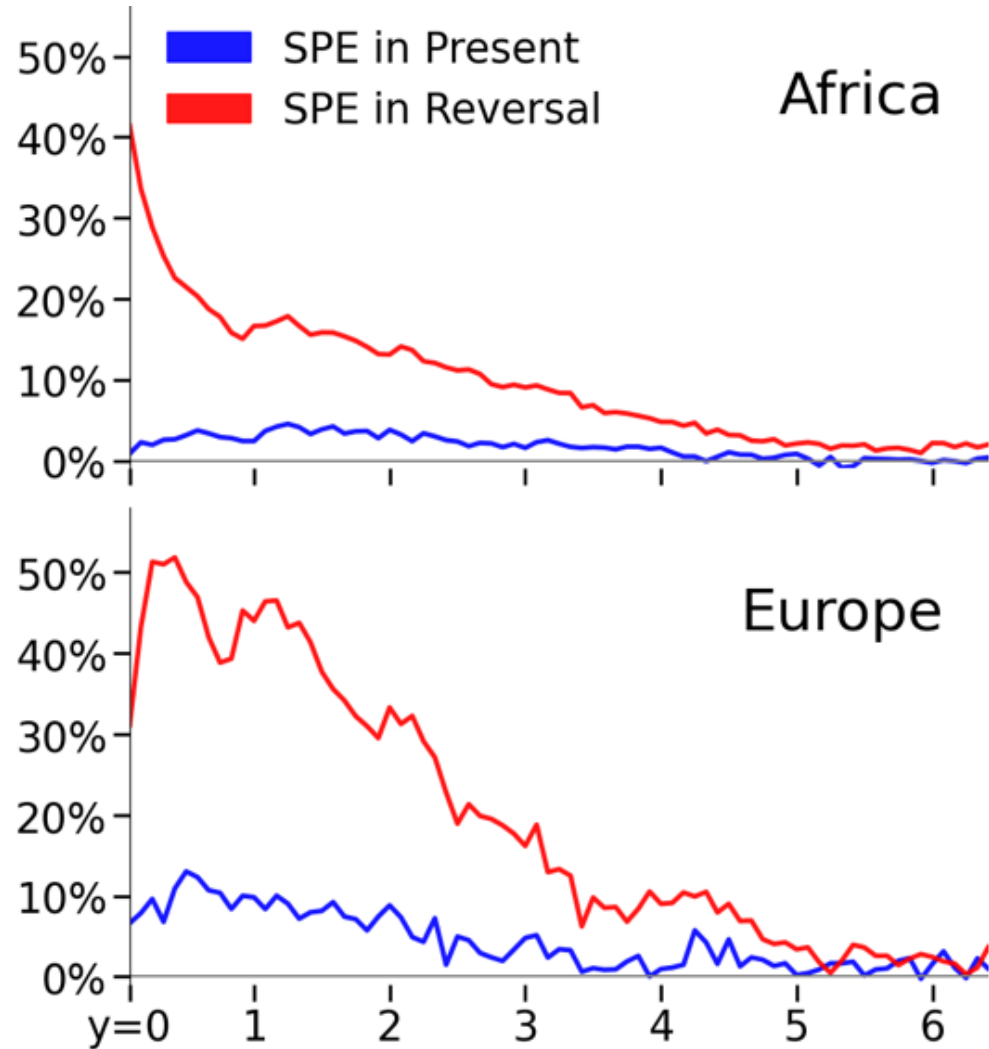


SPE impact



Какие процессы угрожают озону: Протонные события

Повреждение ДНК от СПС во время перестройки магнитного поля

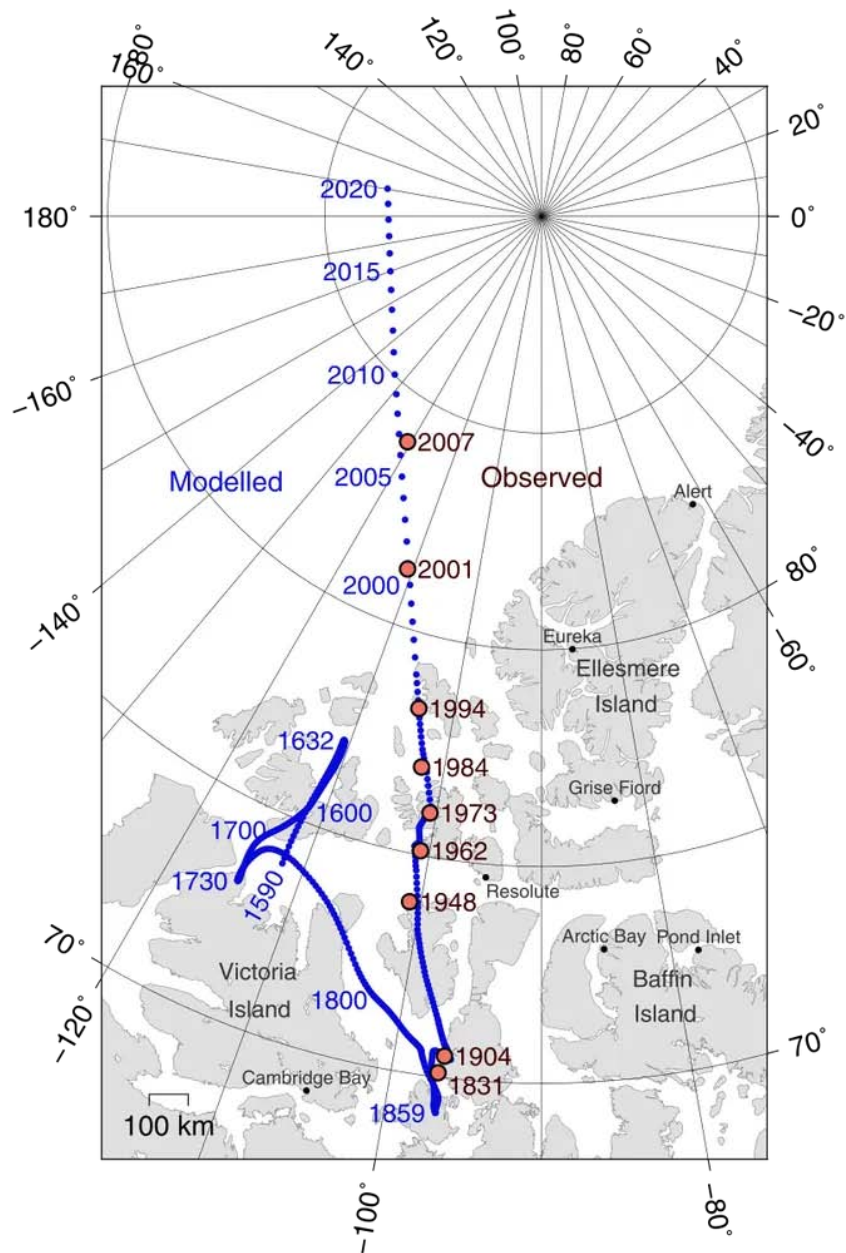


Какие процессы угрожают озону: Протонные события

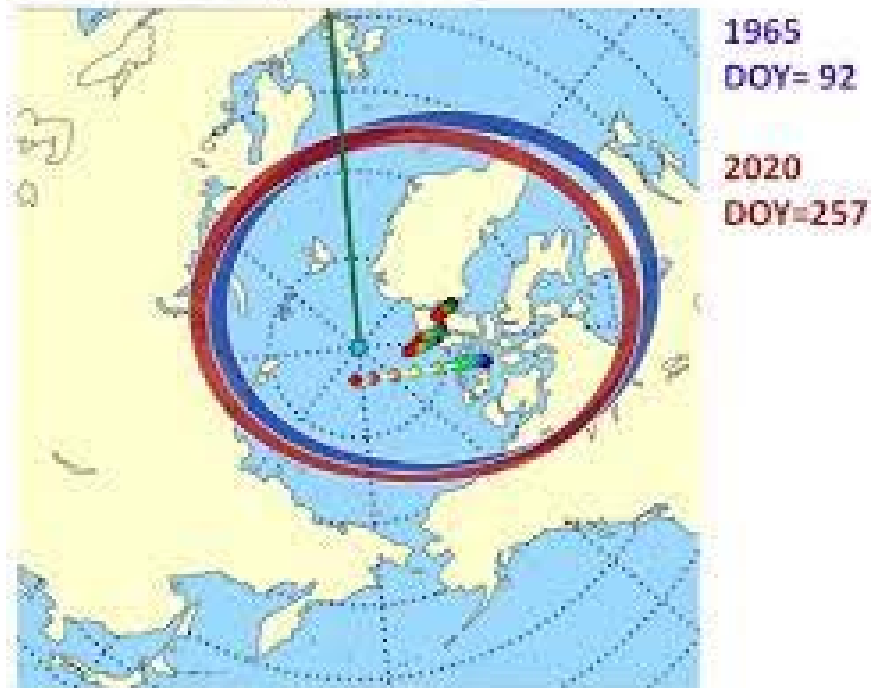


By Charles R. Knight - <http://donglutsdinosaurs.com/knight-neanderthals/>, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18725346>

Изменения геомагнитного поля



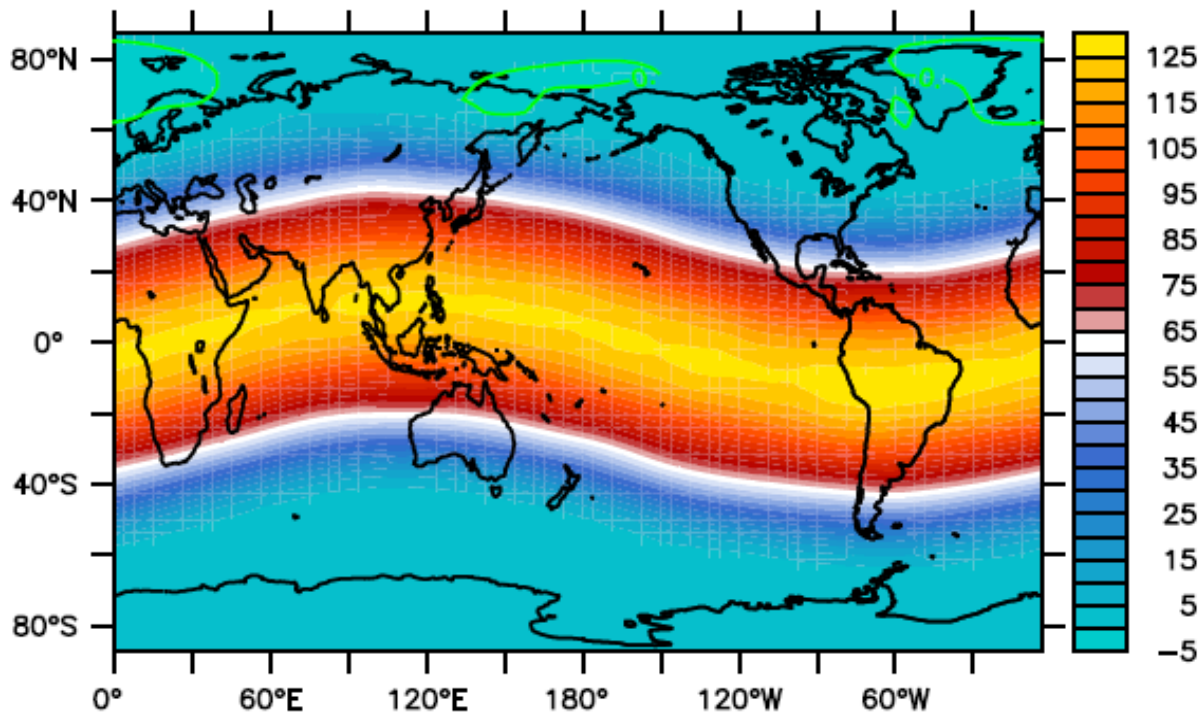
Северный овал; UT = 00:20



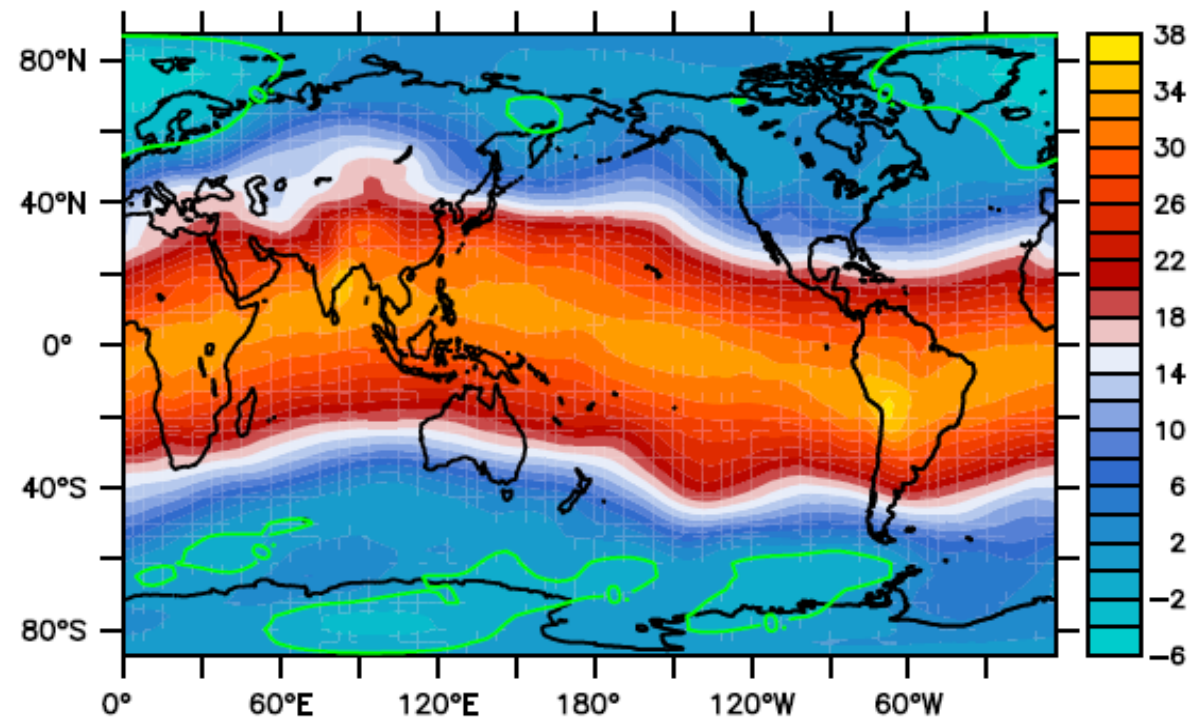
Проблемы на севере
России с:
Радиосвязью
Радиолокацией
Позиционированием
Навигацией

IR and Jz response to Lashamp event

ΔIR , June



ΔJz , June



Particles and climate change

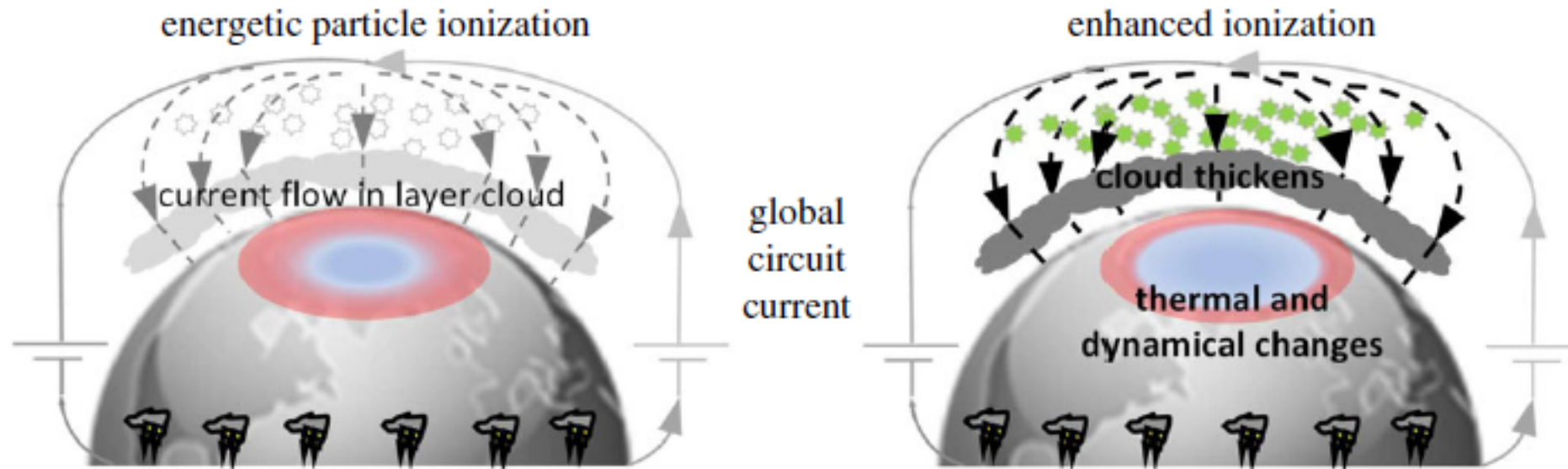
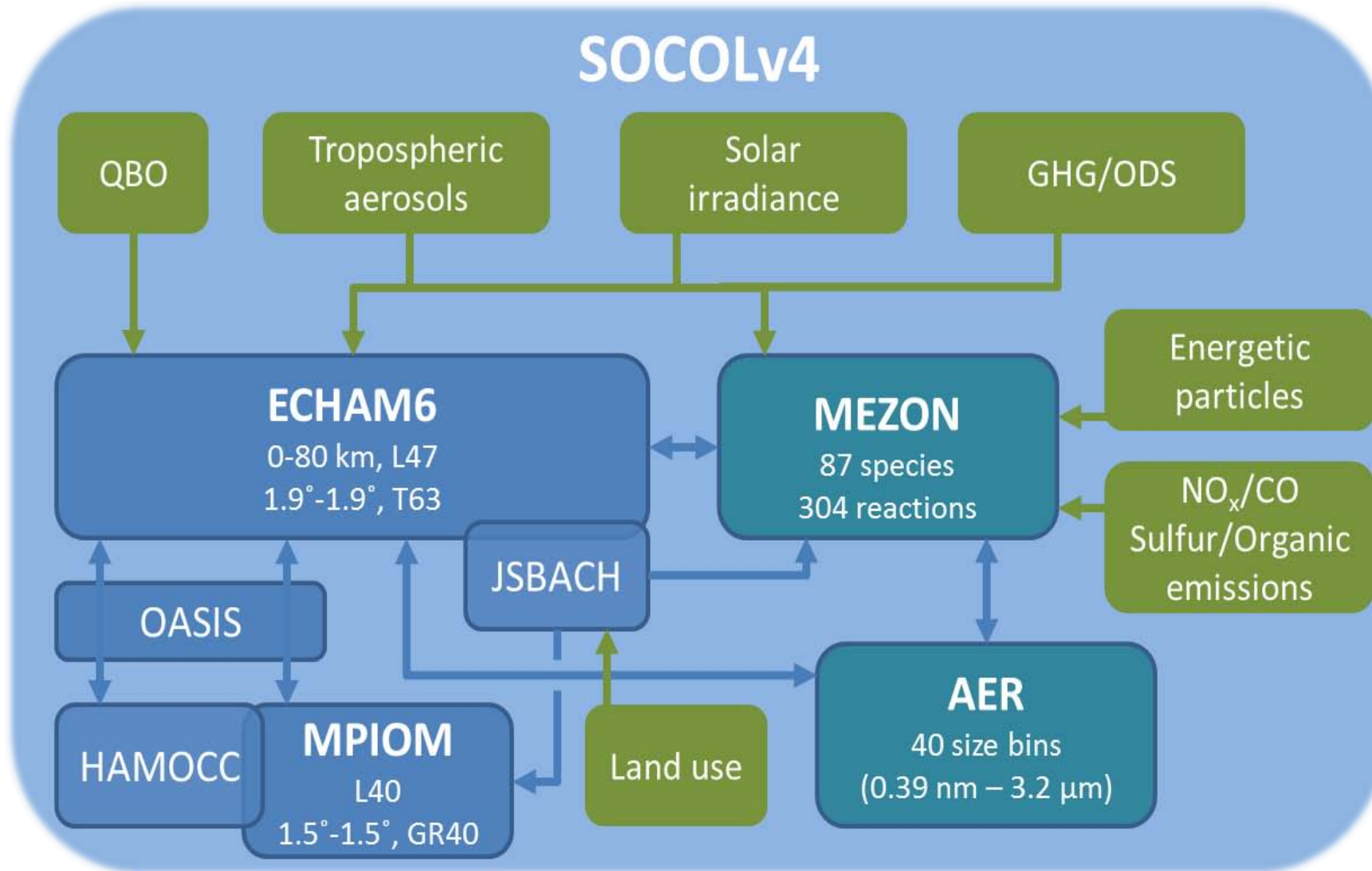


Figure 10. Proposed causal linkage of solar energetic particles effects into the troposphere. (Left) Current flow in the global atmospheric electric circuit. This is driven principally by charge separation in equatorial regions, flowing through the conductive upper atmosphere and returning through the vertical conduction current density, some of which passes through extensive layer clouds in the lower troposphere. (Right) During enhanced ionization from solar energetic particles, the upper atmosphere becomes more electrically conductive at high latitudes and the current passing through layer clouds increases. Thickened low level clouds modify the local thermal structure of the troposphere, with dynamical changes influencing wind directions. (Online version in colour.)

Earth system model SOCOLv4



План лекции

- Типы и свойства энергичных частиц
- Ионизация, химия и перенос
- Влияние на озоновый слой
- Климатические эффекты
- Модуляция циркуляционным режимом
- Связь с состоянием геомагнитного поля (событие Лашампа)
- **Заключение**

Заключение

1. Я думаю, что все поняли как влияют энергичные частицы на озоновый слой, климат и человека.
2. Неопределенности остаются в области знания спектров и потоков высыпающихся частиц и полного объяснения динамических механизмов распространения первичных возмущений.
3. Энергичные частицы нужны в моделях климата (CMIP-7), для анализа хозяйственной деятельности, для анализа угроз из космоса или ядра Земли.
4. Направления работы: уточнение форсинга, расчеты влияния геомагнитных процессов на атмосферу, включение реакции облаков на усиление ионизации.



"Нелинейные волны –2024", 10.11.2024



Санкт-Петербургский
государственный
университет

