

# Структура средней атмосферы при формировании арктического стратосферного вихря зимой 2019-2020 гг.

Лукьянова Р.Ю.

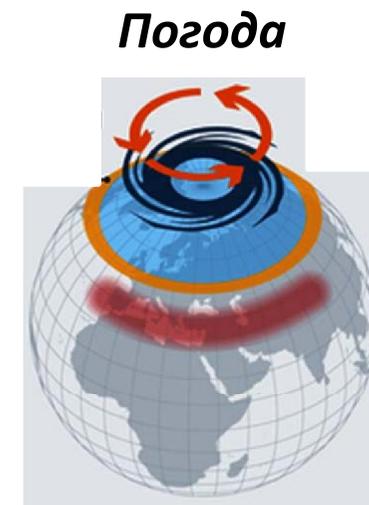
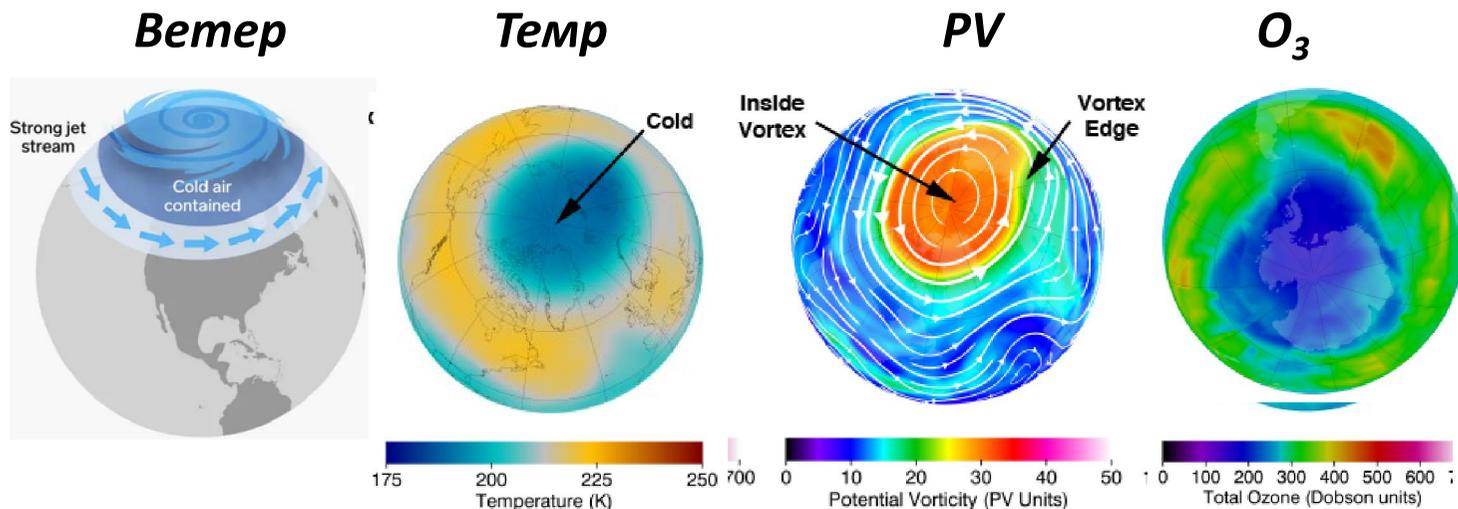
*ИКИ РАН*



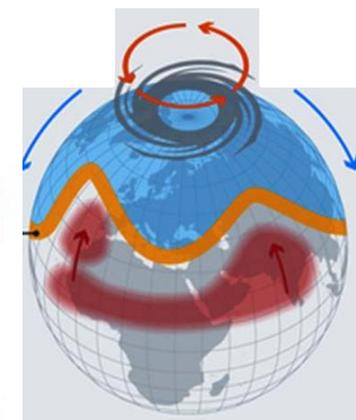
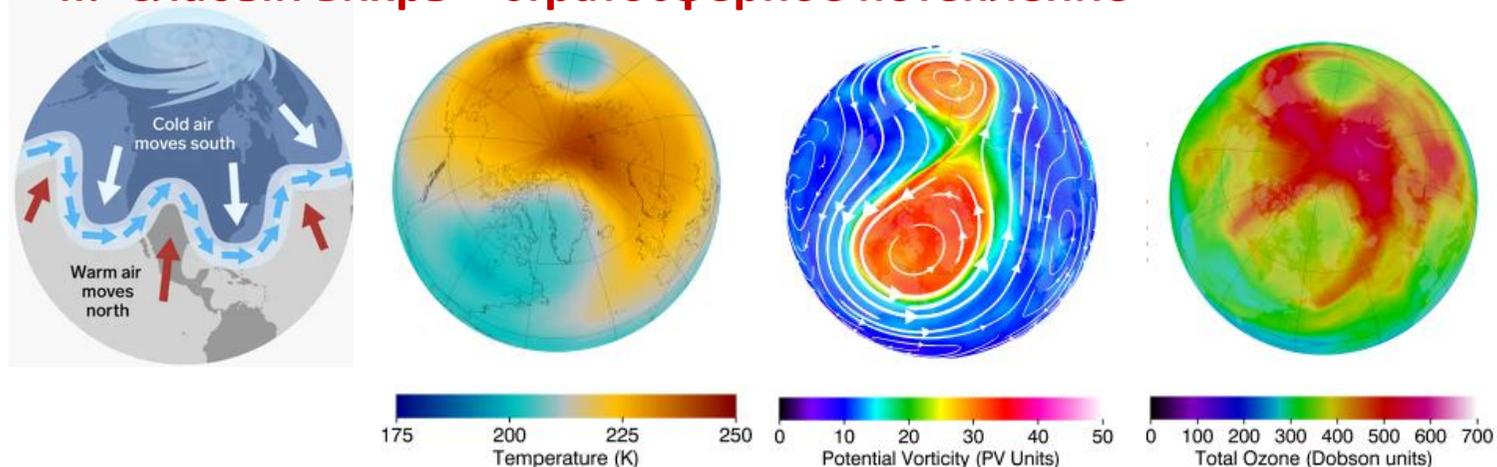
# Стратосферный полярный вихрь, озон, погода

В период полярной ночи в средней/нижней стратосфере развивается направленный на восток циркумполярный ветер - *полярный вихрь*.

## I. Сильный вихрь и его эффекты в полярной атмосфере

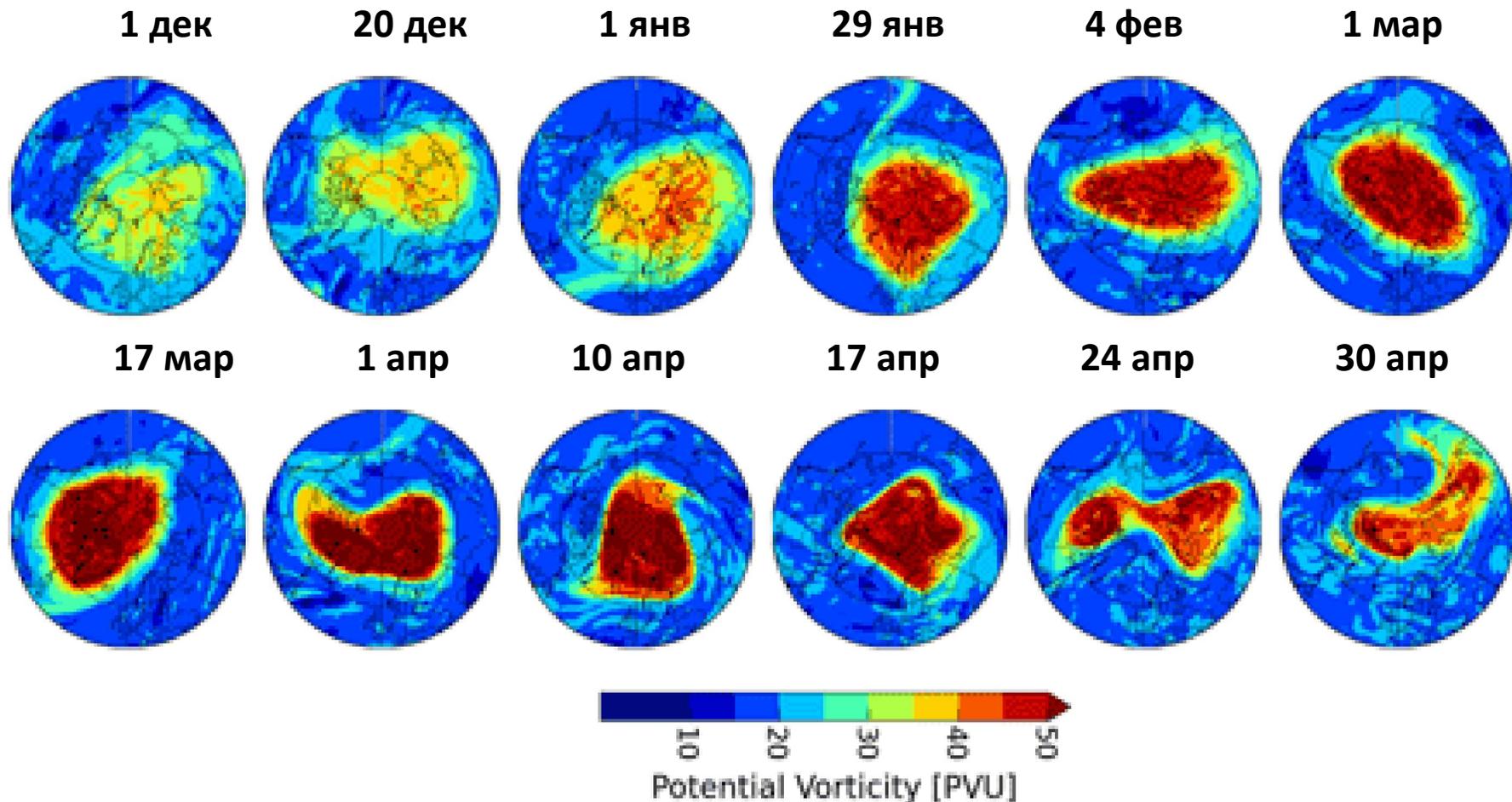


## II. Слабый вихрь – стратосферное потепление



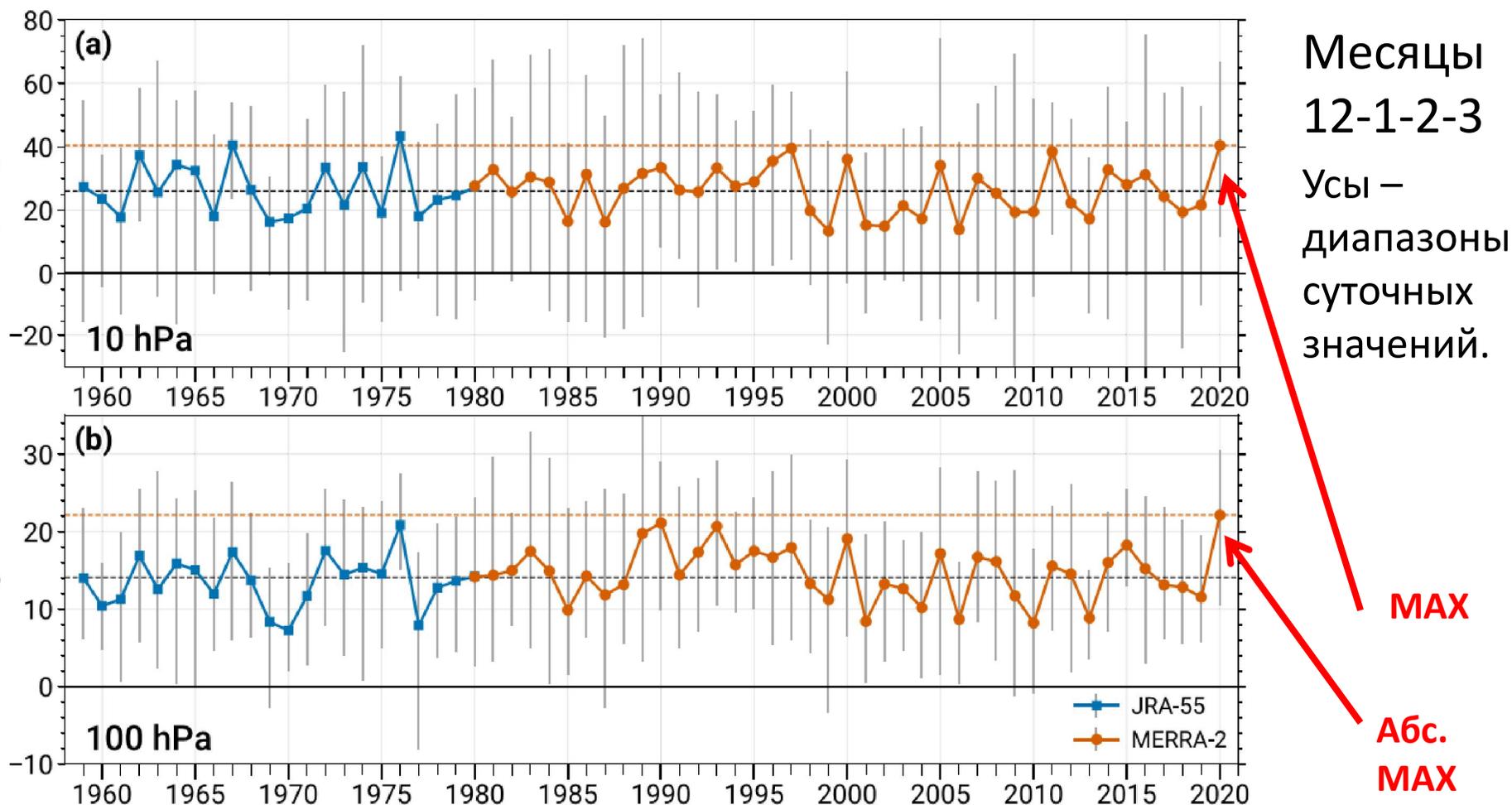
# Арктический стратосферный полярный вихрь зимой 2019-2020

PV на ~ 17 км (уровень потенциальной температуры около 460 К) показывает, что в нижней стратосфере полярный вихрь был очень сильным.



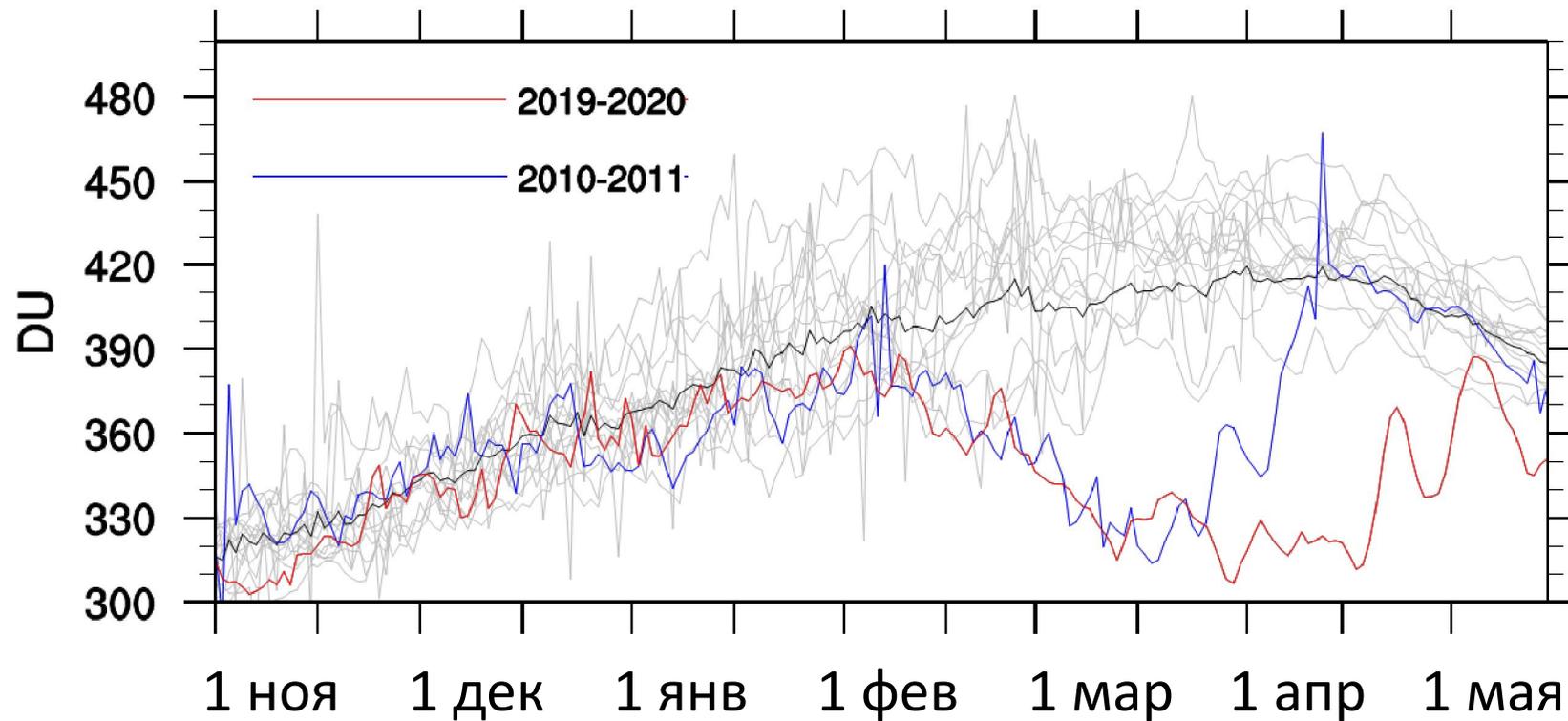
# Арктическая стратосфера 2019-20 в контексте долгопериодных наблюдений

## 1. Средний зональный ветер на 60°N (м/с) 10 гПа и 100 гПа



## 2. Стратосферный озон

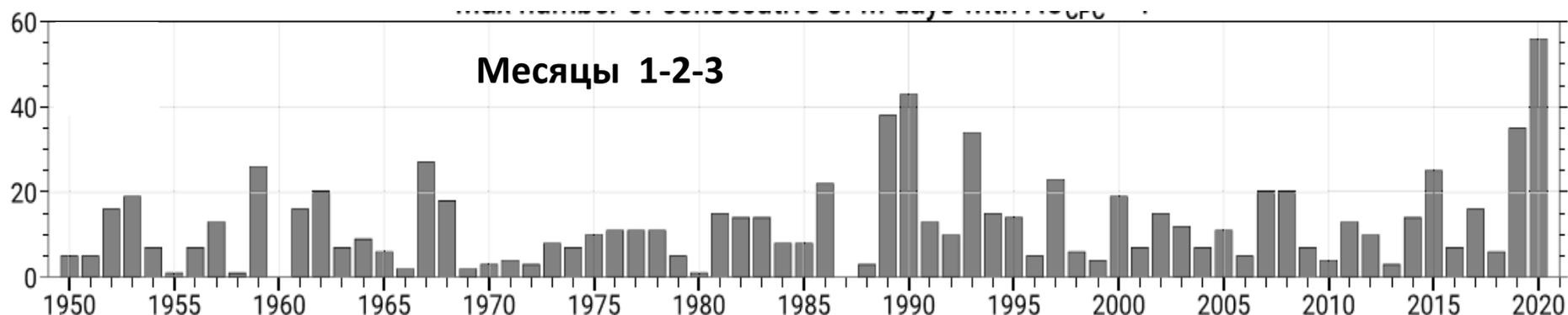
Вариации полного озона в полярном регионе северного полушария 60-90°N в ноябре-мае, начиная с 2002 г.



**Максимальное истощение арктического озона в 2019-20.**

### 3. Тропосфера: Арктическая Осцилляция

Годовой временной ряд максимального количества последовательных зимних дней, в которых индекс АО > 1

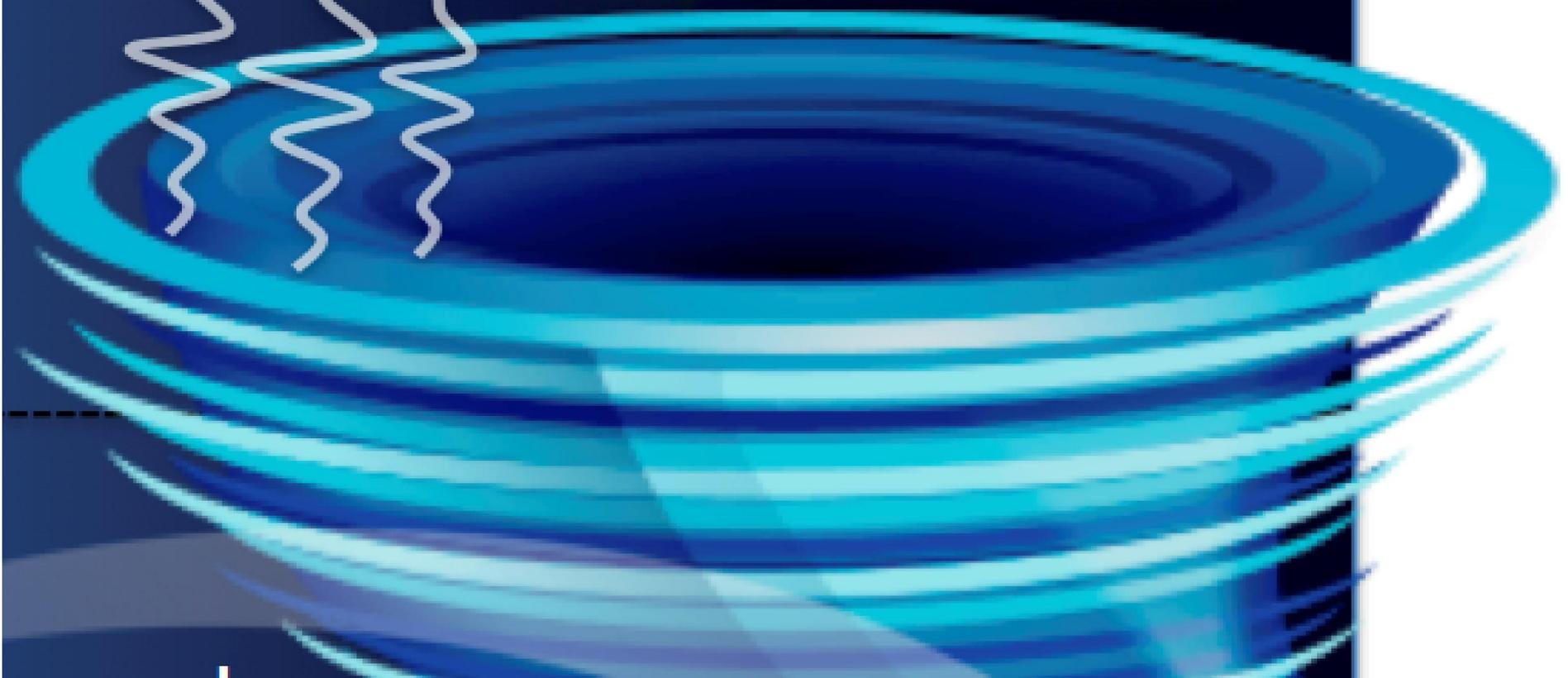


В 2020 г. АО ~ 2,7. Это максимум за всю историю наблюдений с 1950 г.

Рекордное долгоживущее положительное событие АО объясняет значительную часть наблюдаемых аномалий приземной температуры и осадков, включая рекордное тепло в Евразии в 2020.

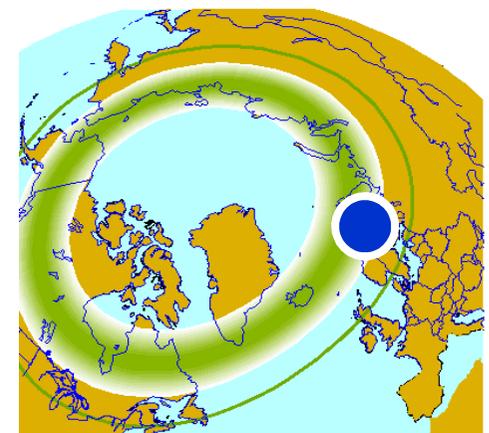
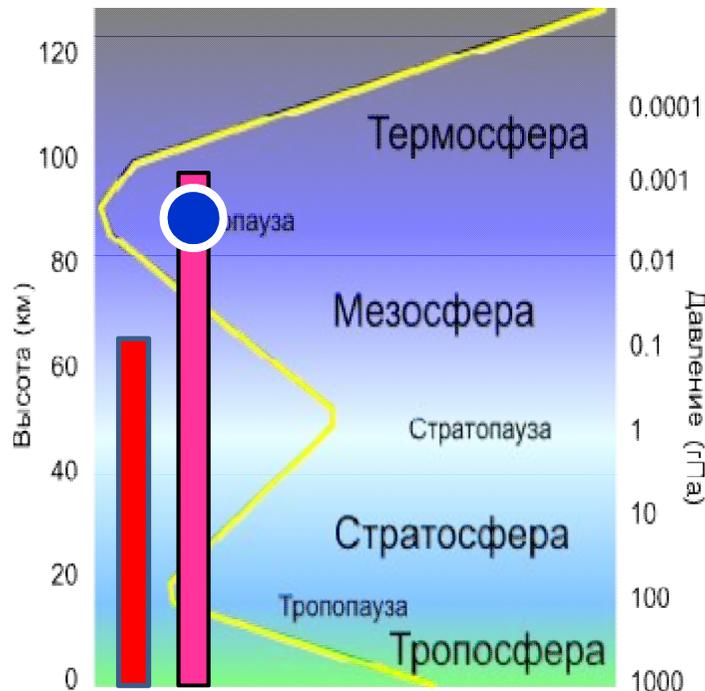
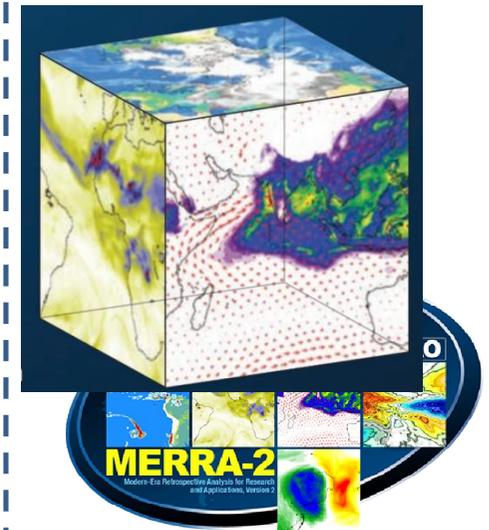
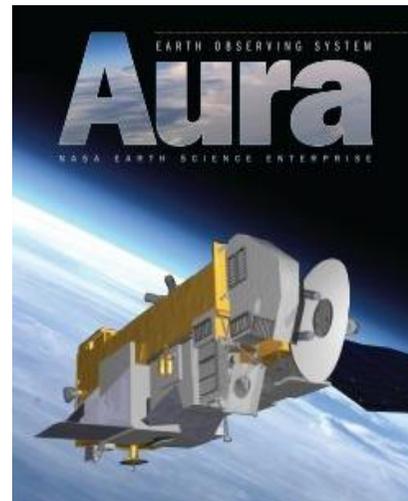
**Положительный экстремум арктического колебания**

При каких условиях  
сформировался  
экстремальный  
стратосферный вихрь?

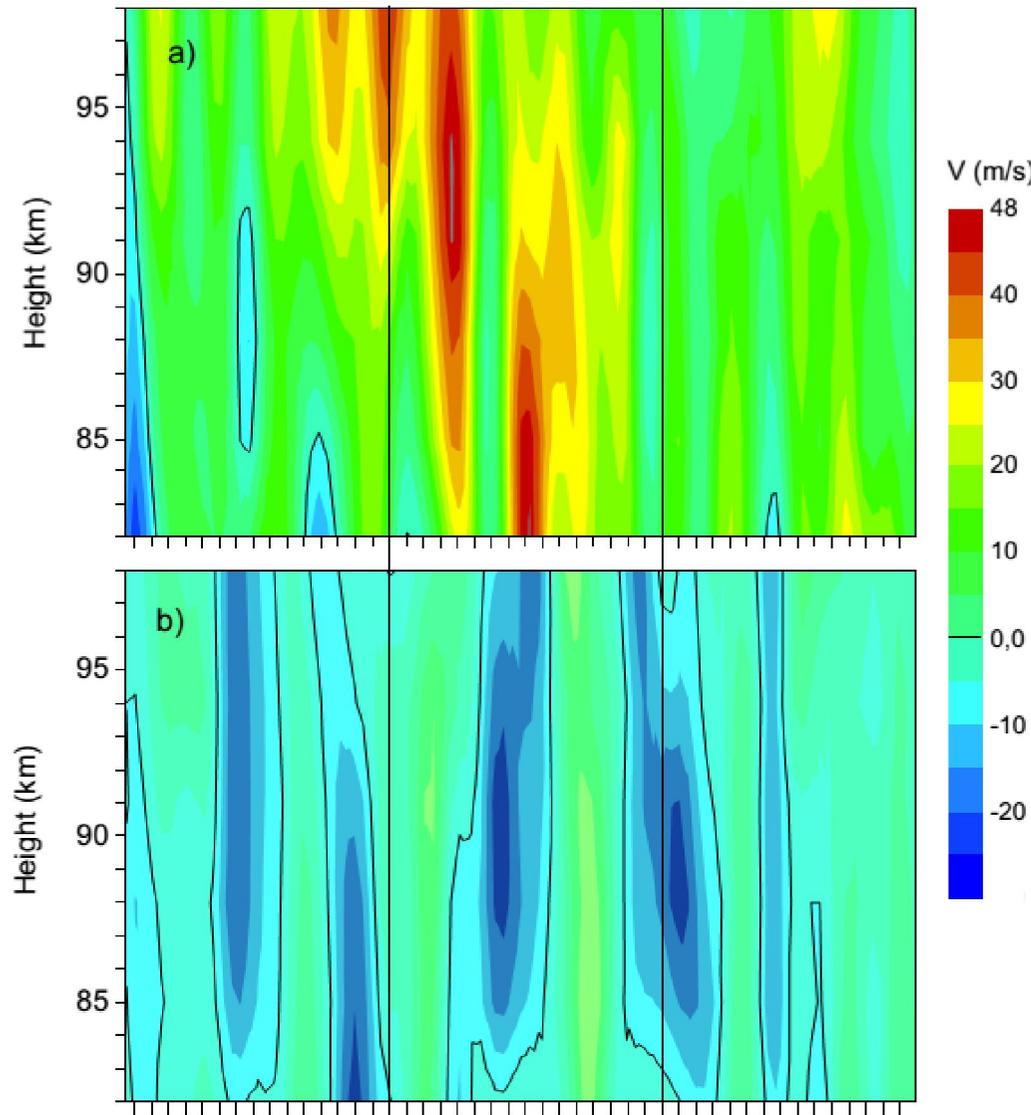


# Инструменты наблюдений в средней атмосфере

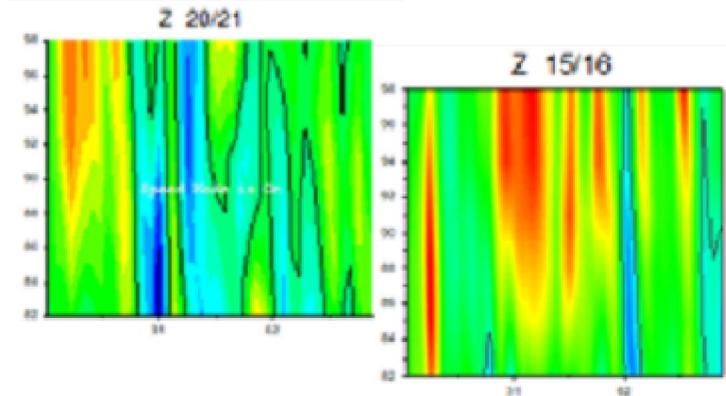
- Реанализ **MERRA** - до 65 км
  - Спутник **Aura** - до 100 км
  - Метеорный радар
- Геофизической обсерватории  
Соданкюля, Финляндия  
– от 80 до 100 км



# Вертикальный разрез зональных и меридиональных ветров в мезосфере: SGO метеорный радар, 80-100 км



Предыдущие зимы для сравнения:  
ВСП и стабильный вихрь.



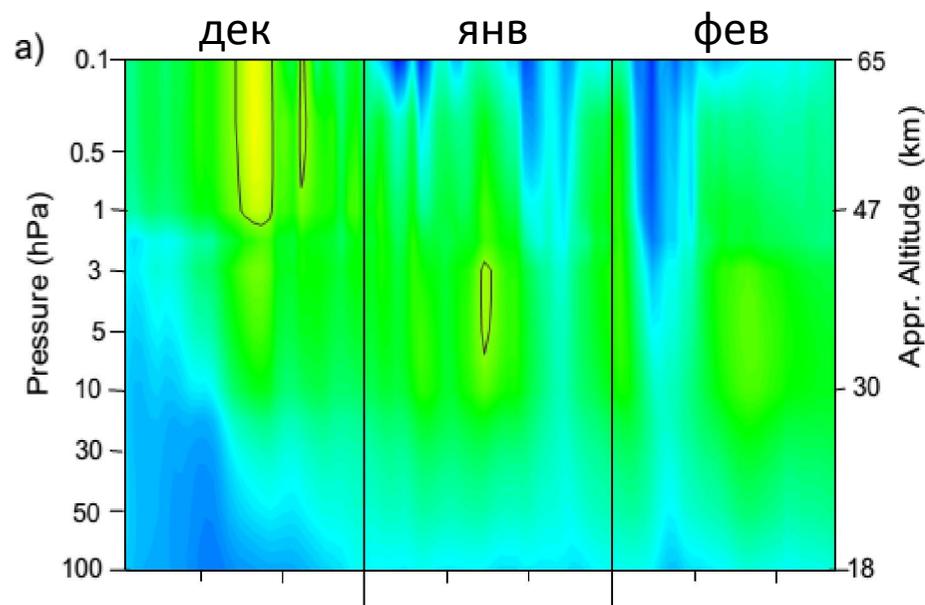
- Глобальное опускание ядра ветра в январе ---> вертикальный сдвиг.
- Спектр планетарных волн.
- Смещению края полярного вихря в сторону полярных широт и меньших высот.

# Вертикальный разрез зональных ветров в верхней стратосфере:

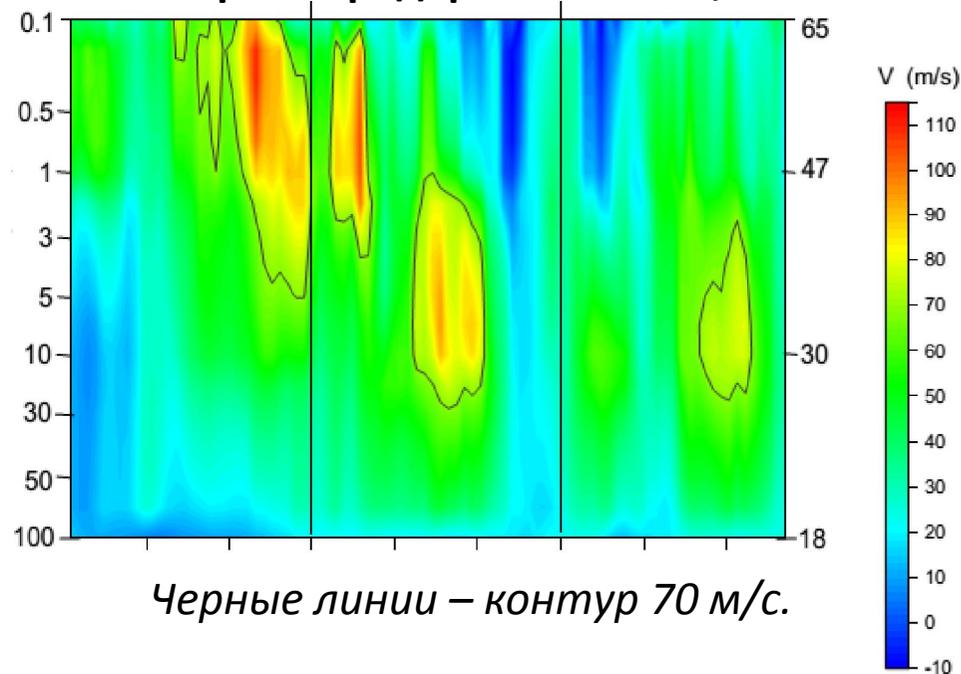
MERRA-2, высоты 100 – 0.1 гПа

декабрь 2019 г. – февраль 2020 г.

Среднезональный ветер на 60–80°N



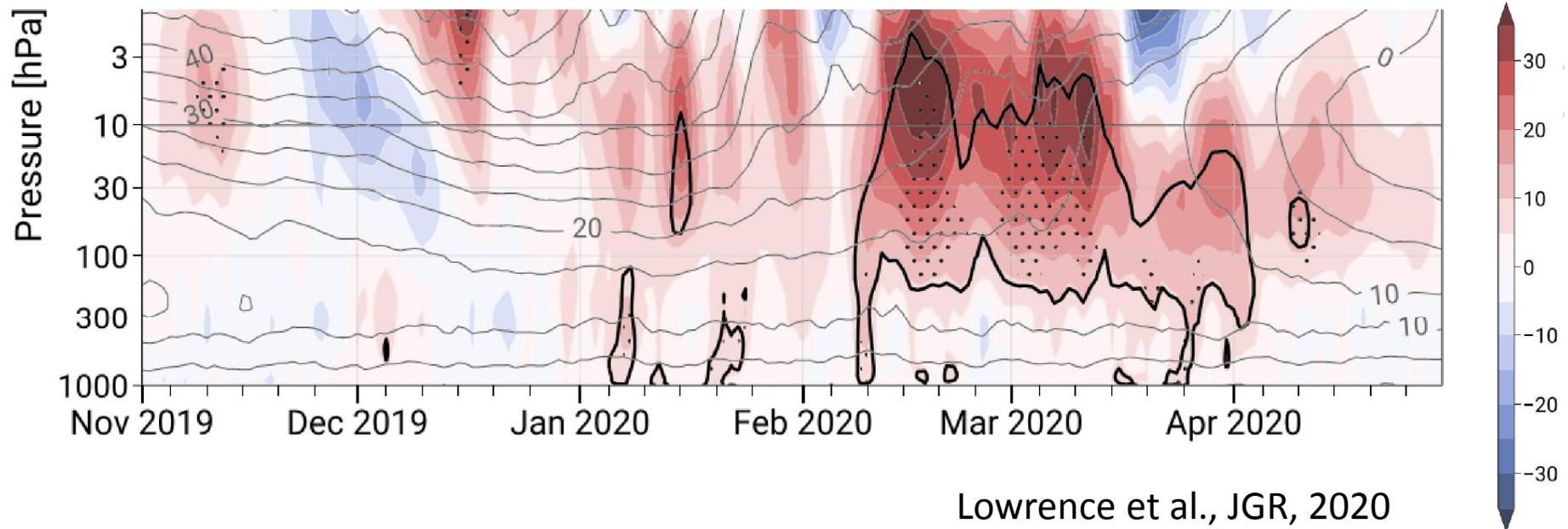
Региональный зональный ветер над метеорным радаром 65–70°N, 0–50° E.



- **Сильный региональный ветер.**
- **Резкое опускание ядра с 60 до 35 км в середине января.**
- **Вертикальный сдвиг ветра.**
- **Спектр планетарных волн.**

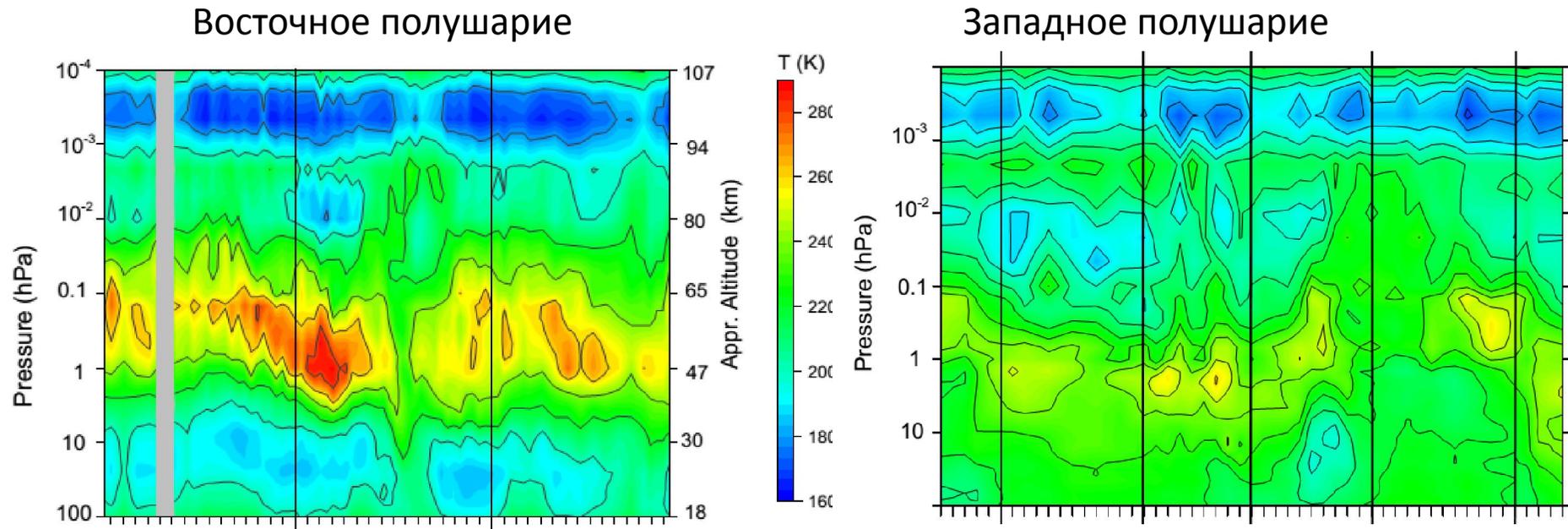
*Положительное направление – на восток*

## Вертикальный разрез аномалий среднезональных ветров в нижней стратосфере: MERRA-2, высоты 1000 –1 гПа



В стратосфере между 100 и 1 гПа полярный вихрь был сильнее обычного с февраля по апрель.

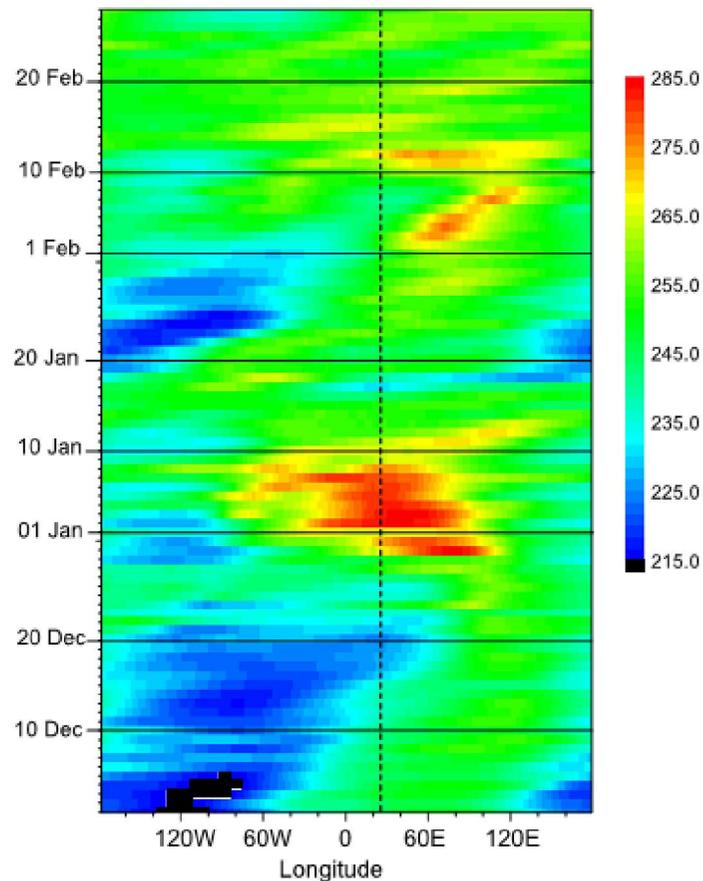
# Вертикальный разрез температуры: Aura MLS



- Потепление в верхних слоях стратосферы и одновременное похолодание в мезосфере происходит только над Евразией. Структура напоминает ВСП, но локализована и выше верхних слоев стратосферы.
- Резкий срыв квази-ВСП.
- Сильная волна 1.
- Потепление в верхней стратосфере и похолодание в мезосфере ----> температурная инверсия.

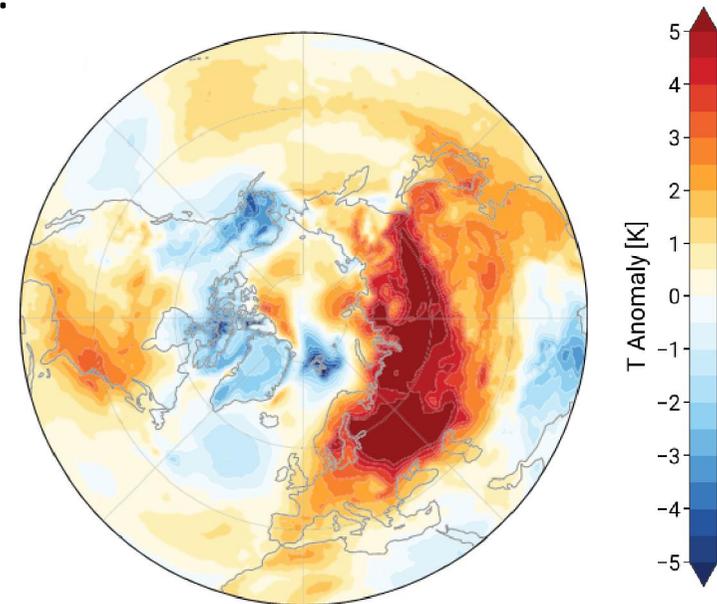
# Проявление волны 1 в высотном диапазоне от мезосферы до тропосферы

Температурная диаграмма Ховмёллера на 1 гПа, 60–90°N



Стационарная структура с планетарной волной 1.

Карта наблюдаемых аномалий приземных температур в январе – марте 2020 г.



Аномальное тепло в Евразии (0-135°E, 45-75°N) и холод в Канаде, Гренландии, Аляске. Евразийское тепло было беспрецедентным в записи MERRA-2 с 1980 г.

# Уникальность условий взаимодействия арктической мезосферы-стратосферы-тропосферы в зимний сезон 2019/2020 гг.

- Данные Aura MLS, метеорного радара и реанализа в комплексе показывают необычные изменения теплового и динамического режима арктической атмосферы зимой 2019–2020 гг. в период формирования стратосферного вихря экстремальной интенсивности.
- На гребне волны 1 наблюдаются несколько последовательных импульсов восточного ветра с высокими скоростями до 50 м/с. Ядро ветра сначала появляется на больших высотах, а затем резко опускается. Это приводит к сдвигу ветра и расслоению зонального потока в широком диапазоне высот.
- Сдвиги зонального ветра формируют высокую и прочную «стену» или «шапку», окружающую полярный вихрь и отражающую идущие из тропосферы волны.
- При опускании зонального ветра развитие высотного потепления прерывается резким похолоданием всего столба средней атмосферы.

# Geophysical Research Letters®

## RESEARCH LETTER

10.1029/2021GL094926

### Special Section:

The Exceptional Arctic Polar Vortex in 2019/2020: Causes and Consequences

### Key Points:

- During the formation of the stratospheric polar vortex, the upper-middle atmosphere is unstable
- Zonal winds amplifications and descending, alternating north/southward flow occur in the stratosphere and mesosphere-lower thermosphere
- Transient warming in the upper stratosphere and cooling above, as well as mesospheric thermal inversions are observed

### Correspondence to:

R. Lukianova,  
[renata@aaari.ru](mailto:renata@aaari.ru)

### Citation:

Lukianova, R., Kozlovsky, A., & Lester, M. (2021). Upper stratosphere-mesosphere-lower thermosphere perturbations during the formation of the Arctic polar night jet in 2019–2020. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL094926. <https://doi.org/10.1029/2021GL094926>

Received 18 JUN 2021

Accepted 20 SEP 2021

## Upper Stratosphere-Mesosphere-Lower Thermosphere Perturbations During the Formation of the Arctic Polar Night Jet in 2019–2020

Renata Lukianova<sup>1,2</sup> , Alexander Kozlovsky<sup>3</sup> , and Mark Lester<sup>4</sup> 

<sup>1</sup>Space Research Institute RAS, Moscow, Russia, <sup>2</sup>Institute of Earth Science, Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia, <sup>3</sup>Sodankylä Geophysical Observatory, Sodankylä, Finland, <sup>4</sup>Department of Physics and Astronomy, University of Leicester, Leicester, UK

**Abstract** Thermal and dynamic perturbations in the polar upper stratospheric/mesosphere-lower thermosphere in the Arctic winter of 2019–2020 as measured by a meteor radar at 67°N, Aura Microwave Limb Sounder and reanalysis are presented. The most severe disturbances occur from late December to mid-January, while the rest of the winter is relatively stable. Mesospheric winds are dominated by several impulsive increases in the zonal component, an abrupt descent of the wind core and alternating north- and south-ward flow with a period of half a month. Reduced temperature at 90 km height accompanied by thermal inversions is observed in association with upper stratosphere/lower mesosphere warming in the eastern hemisphere. The warming trend is interrupted by a strong cooling in the entire stratosphere-mesosphere. The upper middle atmosphere appears considerably stratified. High “walls” surround the vortex that is favorable for its stability.

**Plain Language Summary** If the stratospheric polar vortex is strong, it serves as a stable background for the overlying atmosphere, which remains undisturbed because waves and heat do not penetrate there from below. In the Arctic winter of 2019–2020, although the vortex is evolved into such a configuration and became exceptionally strong in the late winter, during its initial formation, dramatic disturbances occurred in the upper stratosphere and mesosphere. Impulsive strengthening and descending of the zonal winds, shears, alternating north- and south-ward flows, transient upper stratospheric warming and mesospheric cooling, persistent thermal inversions, observed in the first half of the winter, likely indicate a certain degree of decoupling of the atmospheric layers and the role of the high-altitude atmosphere in the intensification and splitting of the vortex.

### 1. Introduction

In the Northern Hemisphere winter of 2019/2020, a very strong, cold and persistent westerly circulation occurred in the high-latitude stratosphere. Unlike ordinary Arctic winters during which stratospheric warmings (minor or major) are relatively common, in this particular winter the polar vortex was less disturbed or