

Глобальная циркуляция и бароклинные волны средних широт в случае зонально однородных граничных условий

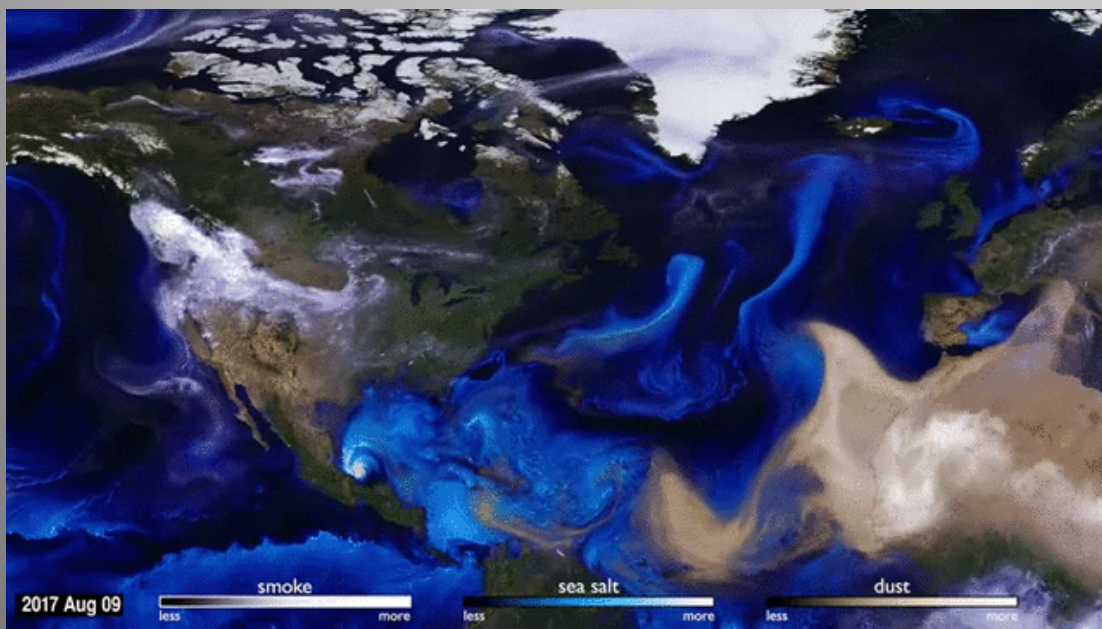
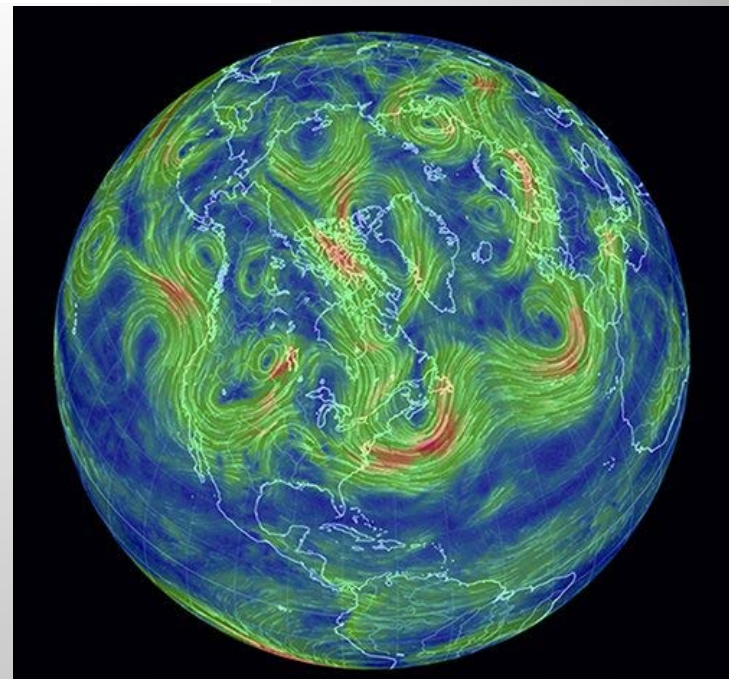
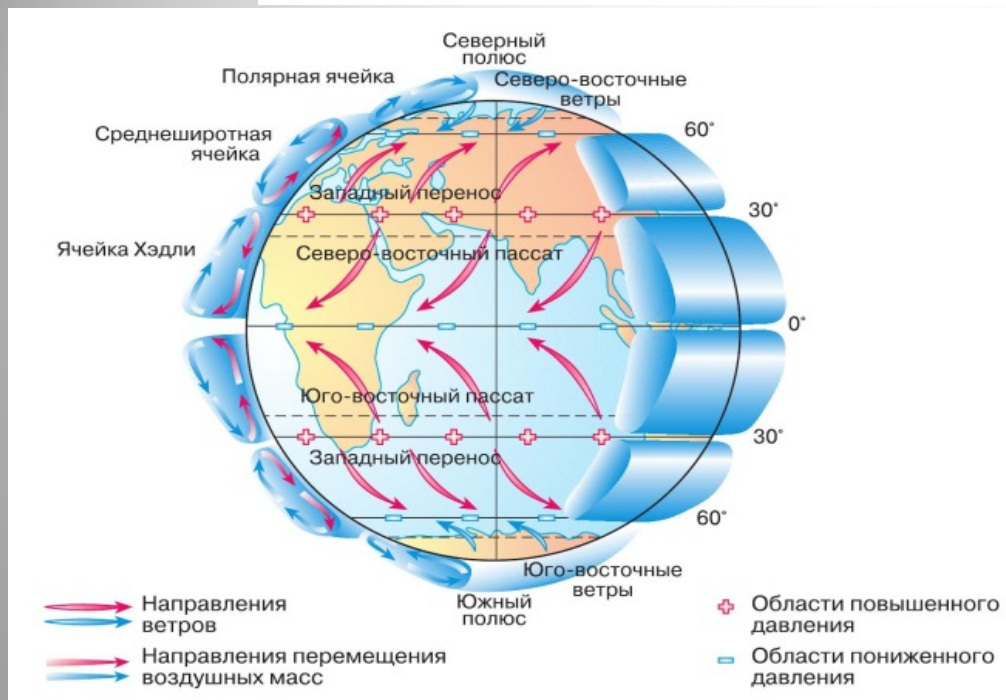
*Фрик Петр Готлобович ¹, Сухановский Андрей Николаевич ¹,
Степанов Родион Александрович ¹, Быков Алексей Васильевич ^{1,2},
Ветров Андрей Леонидович ², Калинин Николай Александрович ^{1,2},*

¹Институт механики сплошных сред УрО РАН, Россия,
614018, Пермь, ул. Ак. Королева, 1

²Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Россия, 614068, г. Пермь,
ул. Букирева, 15

Работа выполнена при поддержке гранта
Российского научного фонда № 22-61-00098

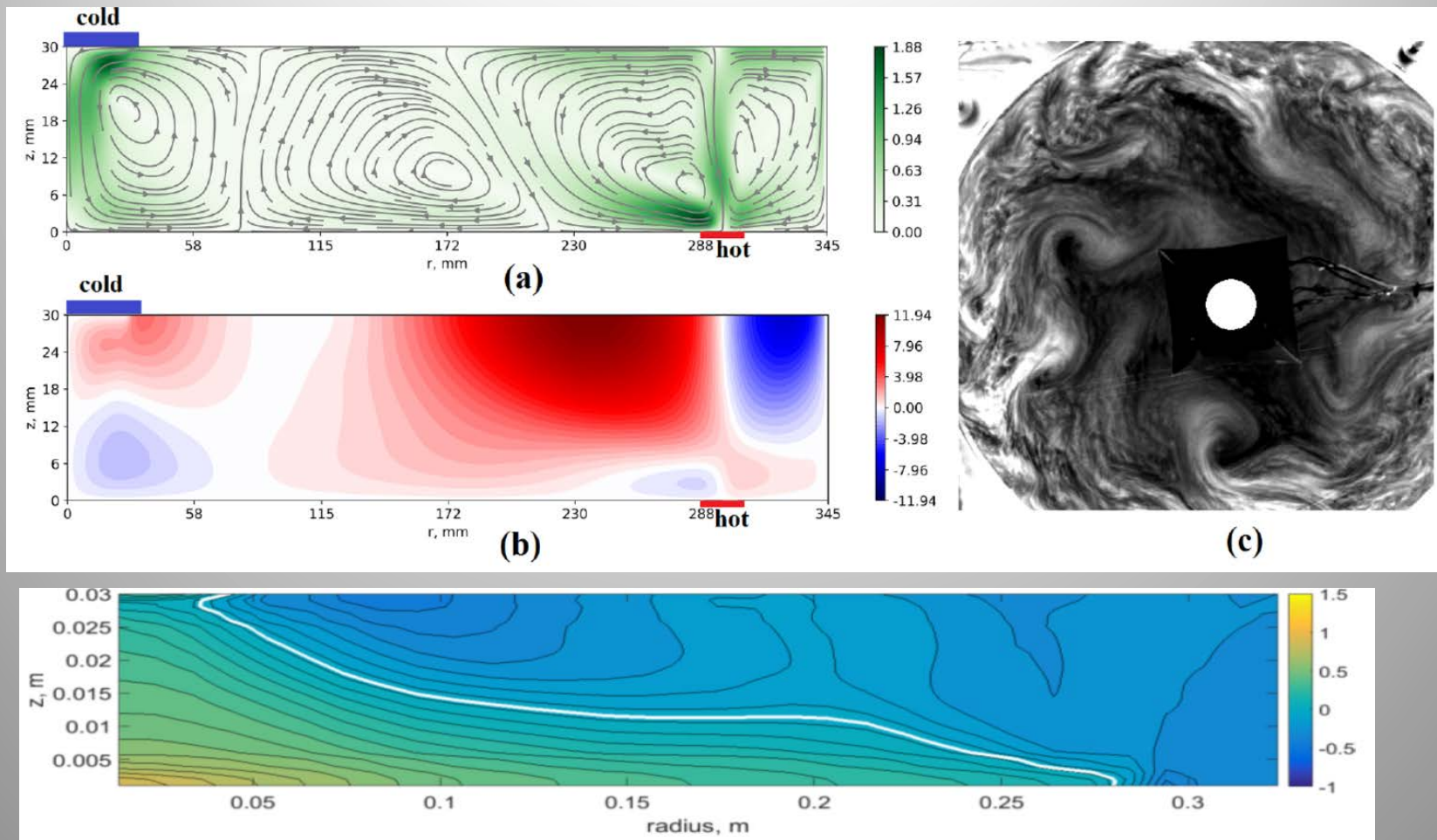
Бароклинные волны средних широт



[2017 Hurricanes and Aerosols Simulation - YouTube](#)

YouTube · NASA Goddard

Бароклинные волны в лабораторной модели общей циркуляции атмосферы

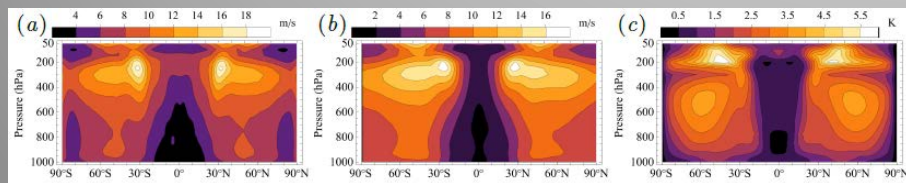
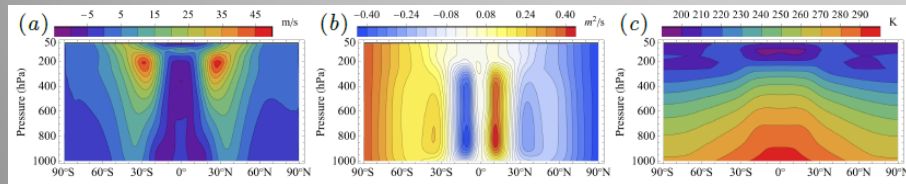
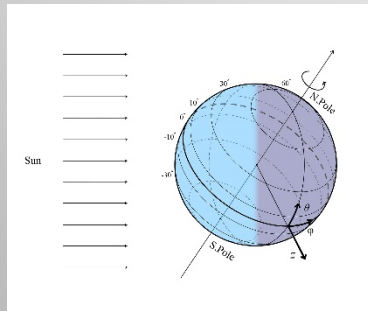


Sukhanovskii, A. and Gavrilov, A. and Popova, E. and Vasiliev, A. The study of the impact of polar warming on global atmospheric circulation and mid-latitude baroclinic waves using a laboratory analog // Weather and Climate Dynamics, 2024, Vol.5(2), P.863-880.

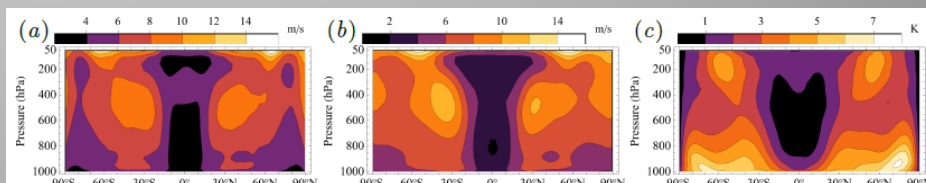
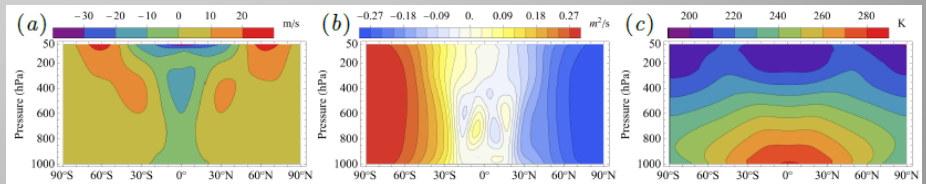
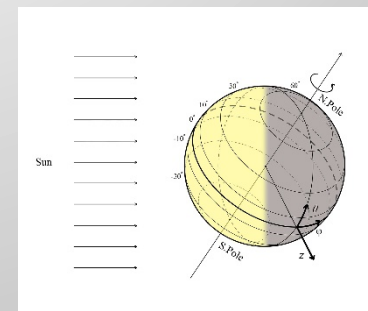
Доклад А.Сухановского завтра в 12-35

Моделирование общей циркуляции атмосферы в идеализированной зонально-однородной постановке при помощи WRF-ARW

Аквапланета с меридиональным градиентом температуры



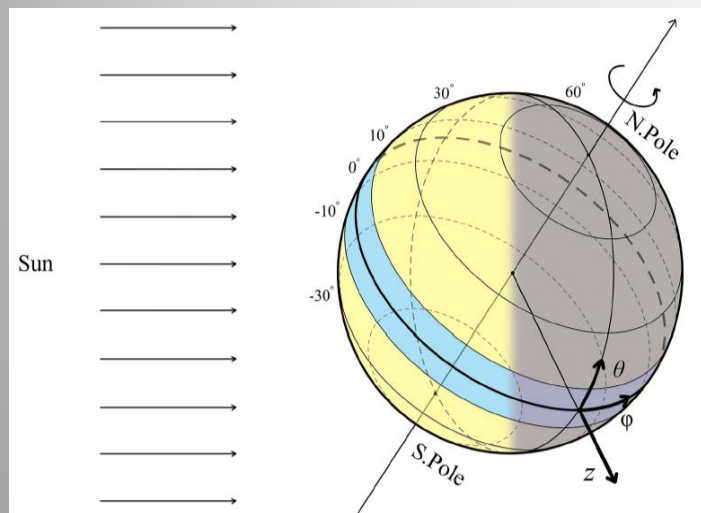
Пустынная планета с солнечным обогревом



Средние (за год) распределения и СКО
Зональная скорость, функция тока и температура

Бароклинные волны в полномасштабной модели общей циркуляции атмосферы реализованной при помощи WRF-ARW

Основные параметры модели

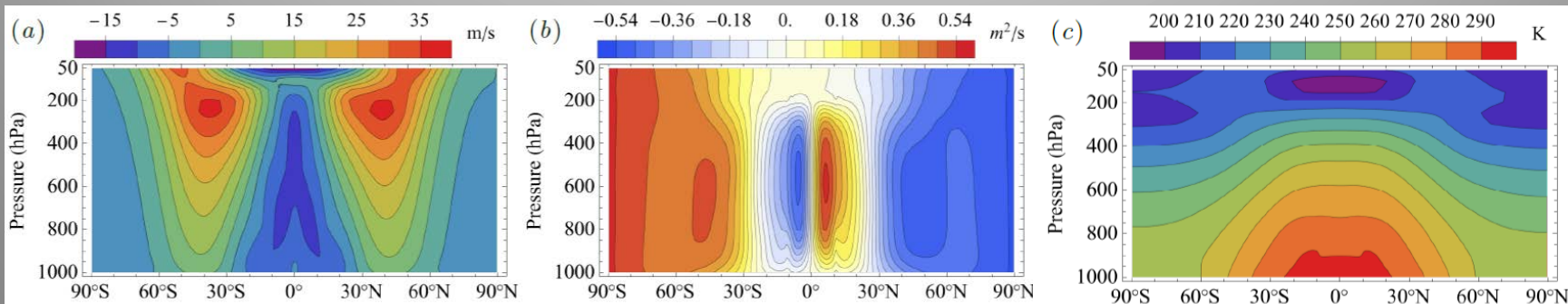


Схематическое изображение экваториальной океанической ($T_{\text{океан}} = 27^{\circ}\text{C}$) и полярных пустынных зон

Table 1 WRF-ARW model configuration

Parameter	Description
model dynamics	non-hydrostatic
grid type	global latitude-longitude, reduced
horizontal resolution	0.8° (89 km)
number of vertical levels	51
time step	150 s
initial and boundary conditions	modified files of reanalysis NCEP-CFS (0.5°)
output data step	24 hours
microphysics scheme	WSM third-class scheme
shortwave and longwave radiation	RRTMG scheme
surface layer	modified MM5 scheme
land surface	NOAH scheme
surface layer	modified MM5 scheme
planetary boundary layer	Yonsei University scheme
deep convection	modified Tiedtke scheme

Средние (за год) распределения:



Зональная скорость

Функция тока

Температура

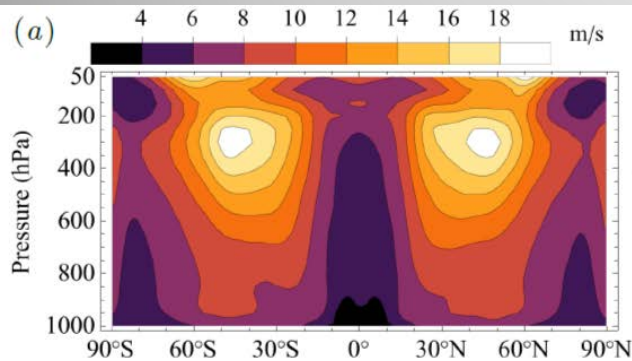
Пульсационные характеристики

$$\bar{f}(t, p, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t, p, \theta, \varphi) d\varphi,$$

$$f'(t, p, \theta, \varphi) = f(t, p, \theta, \varphi) - \bar{f}(t, p, \theta),$$

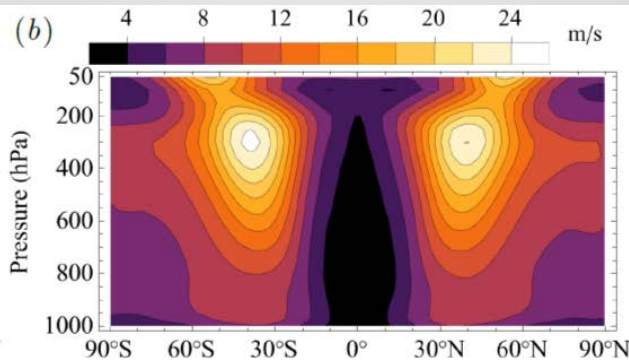
$$f_{\text{RMS}}^2(t, p, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f'^2(t, p, \theta, \varphi) d\varphi.$$

$$\langle u_{\text{RMS}}^2 \rangle_{\text{year}}^{1/2}$$



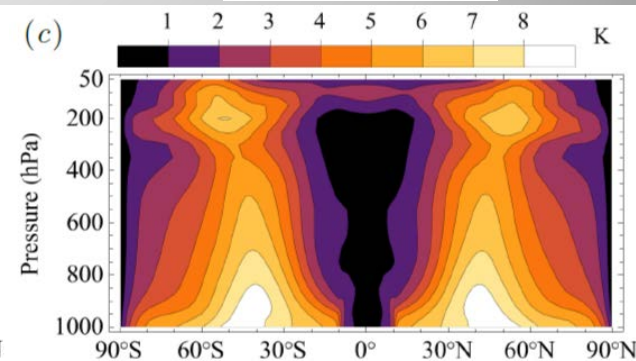
Зональная скорость

$$\langle v_{\text{RMS}}^2 \rangle_{\text{year}}^{1/2}$$

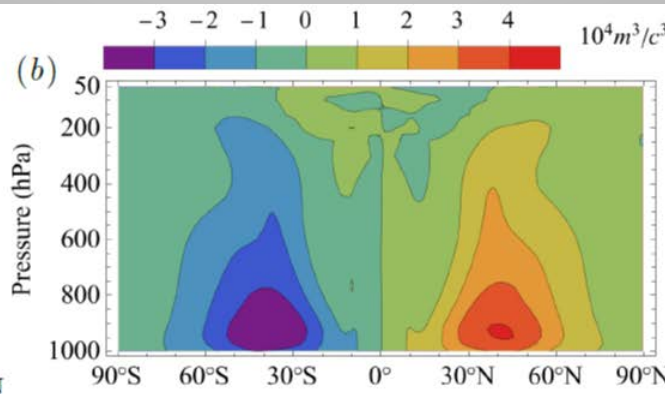
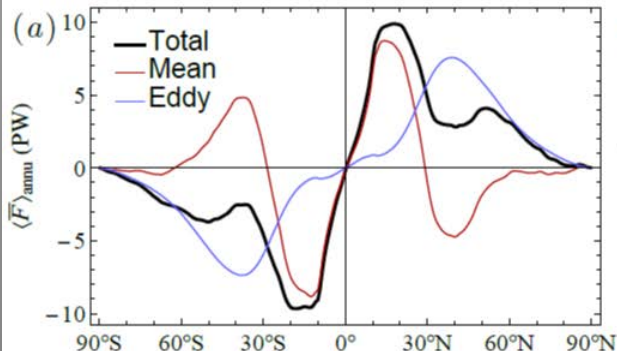


Меридиональная скорость

$$\langle T_{\text{RMS}}^2 \rangle_{\text{year}}^{1/2}$$



Температура

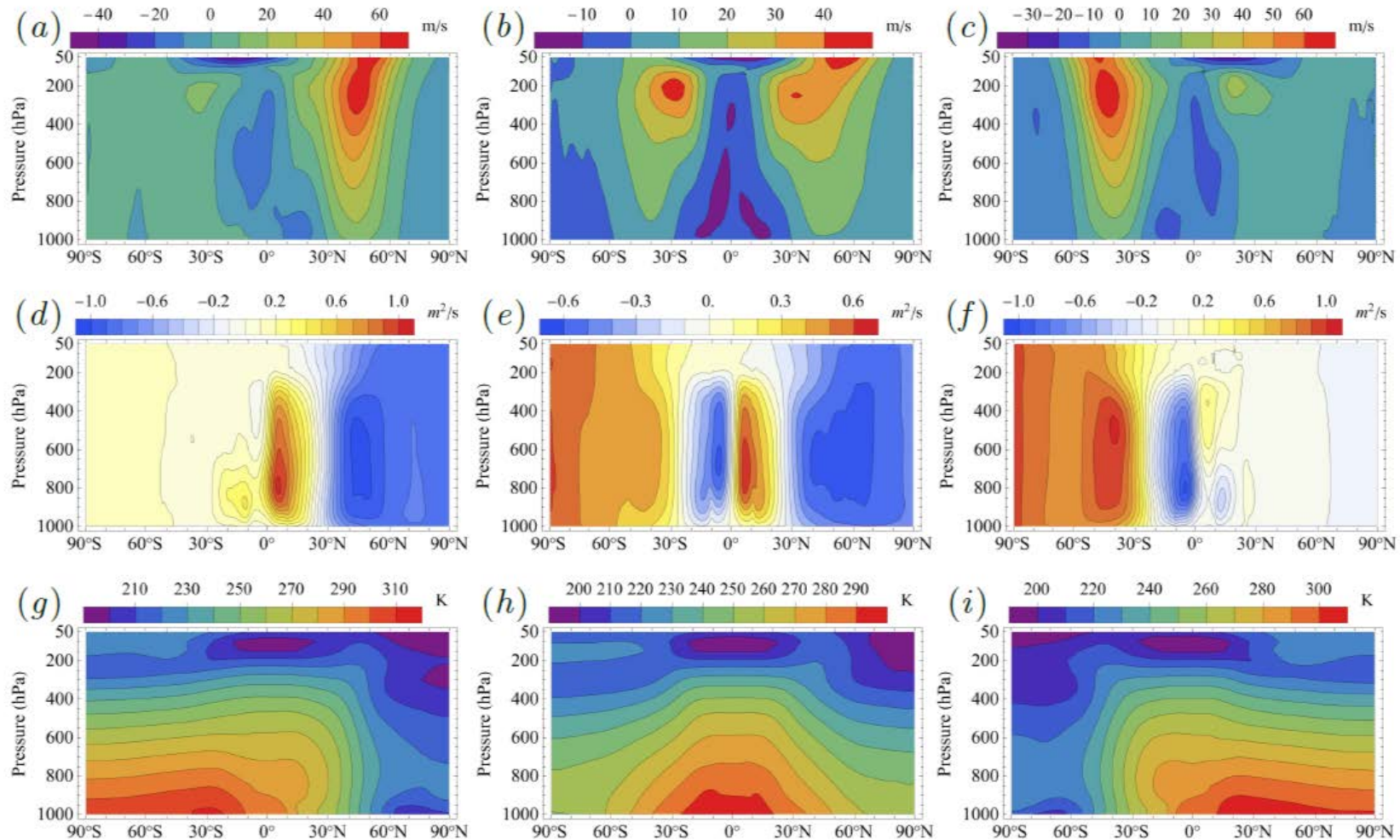


Среднегодовые
потоки тепла

$$\bar{F}_v(t, \theta) = \frac{2\pi R_E}{g} \cos \theta \int (\bar{M}\bar{v} + \overline{M'v'}) dp$$

Большая зона пустынь - сильные сезонные вариации

Сезонные вариации средних (по азимутальной координате) характеристик

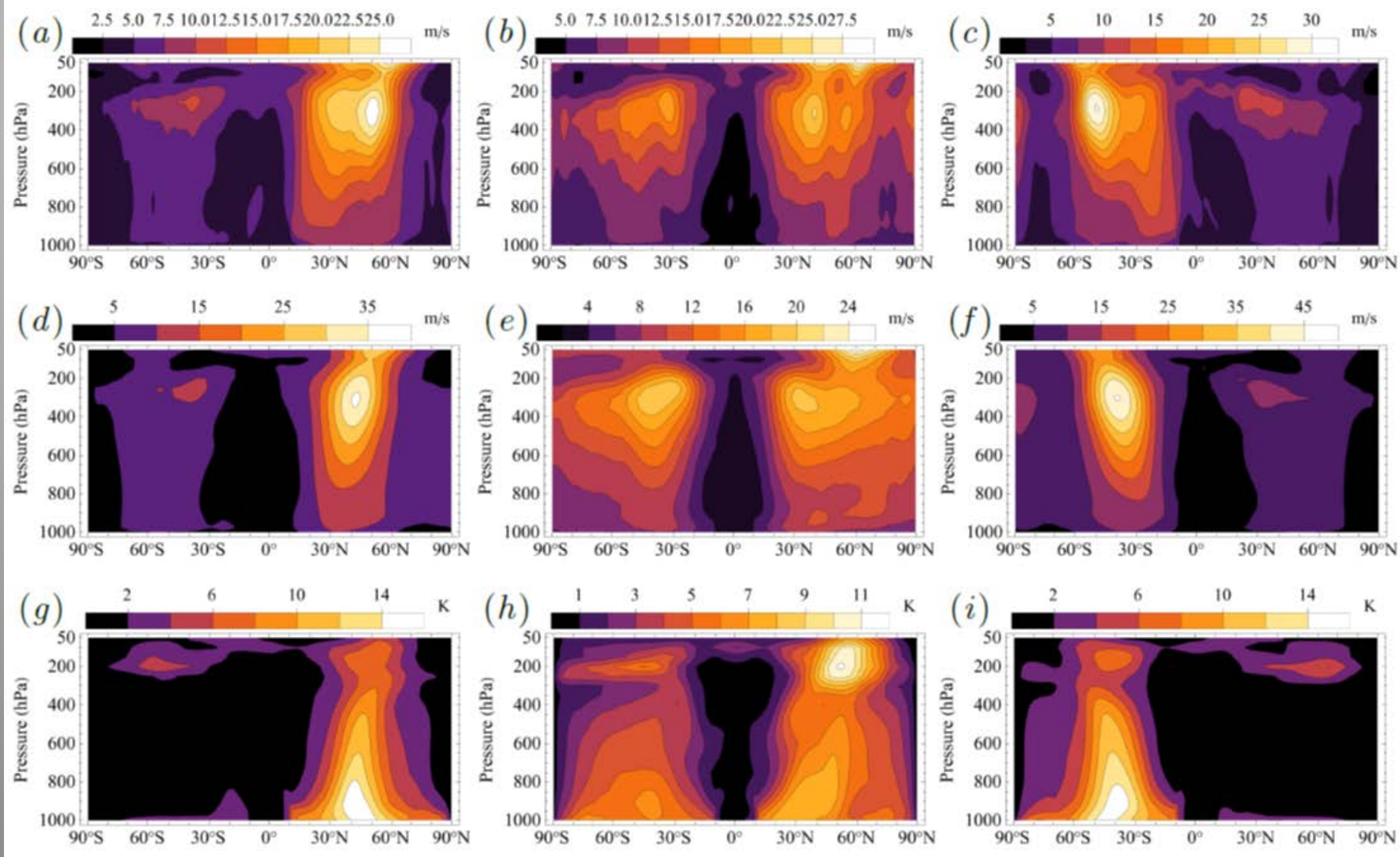


Январь

Апрель

Июль

Сезонные вариации пульсационных характеристик

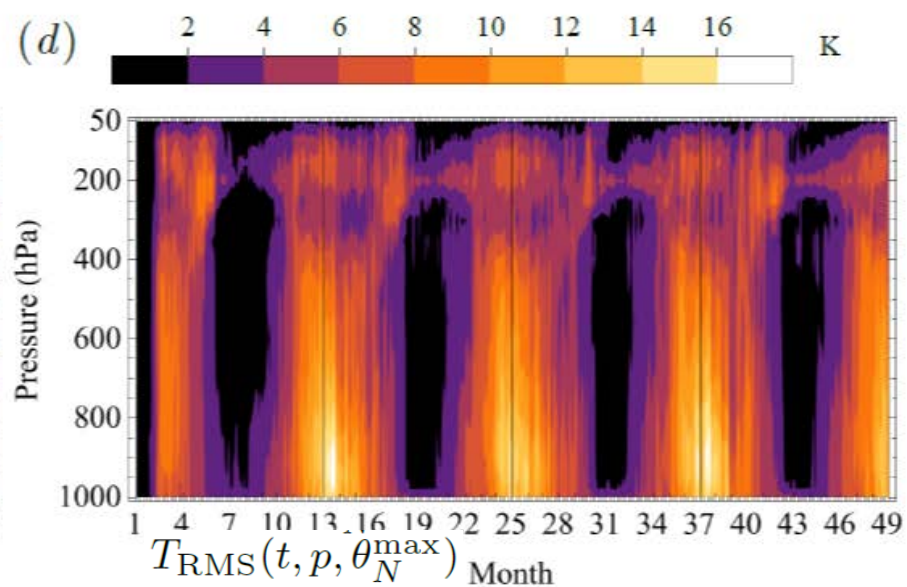
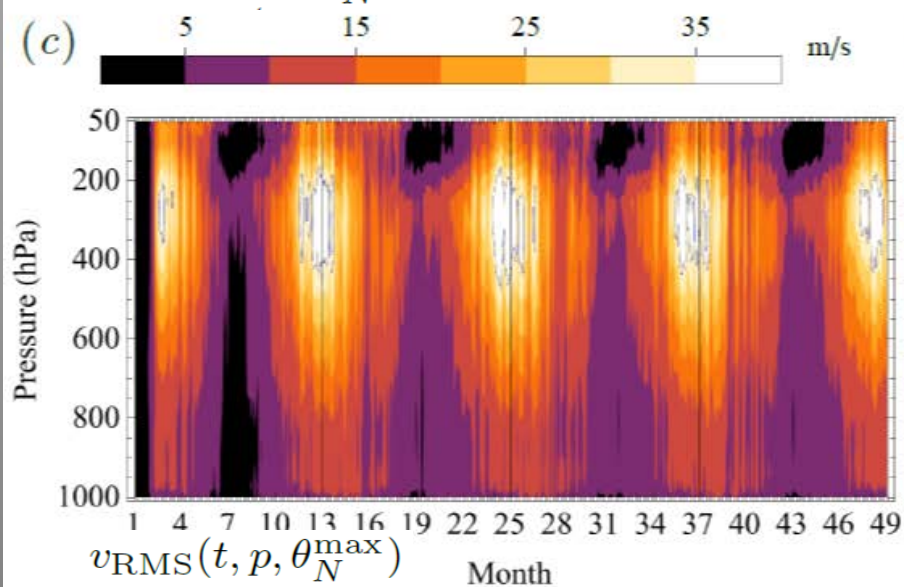
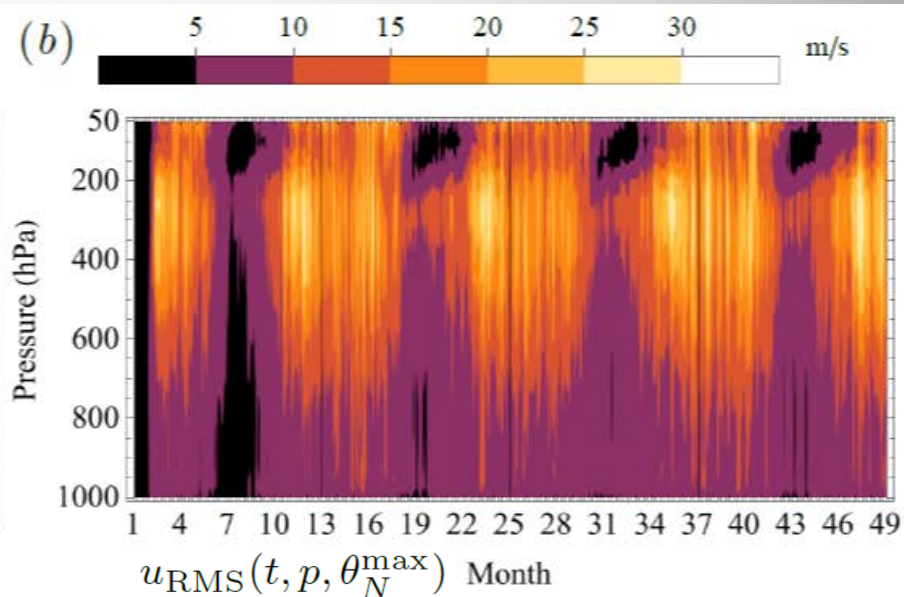
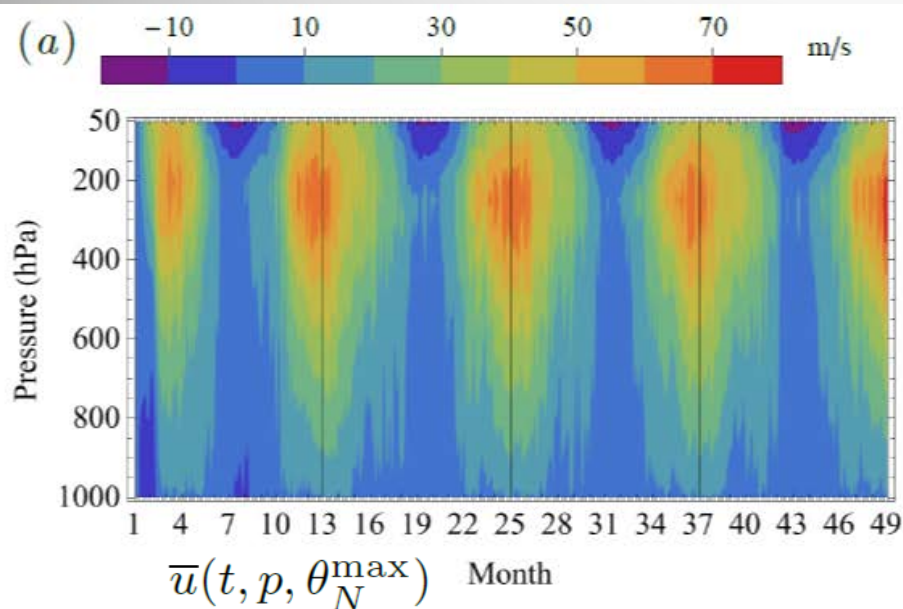


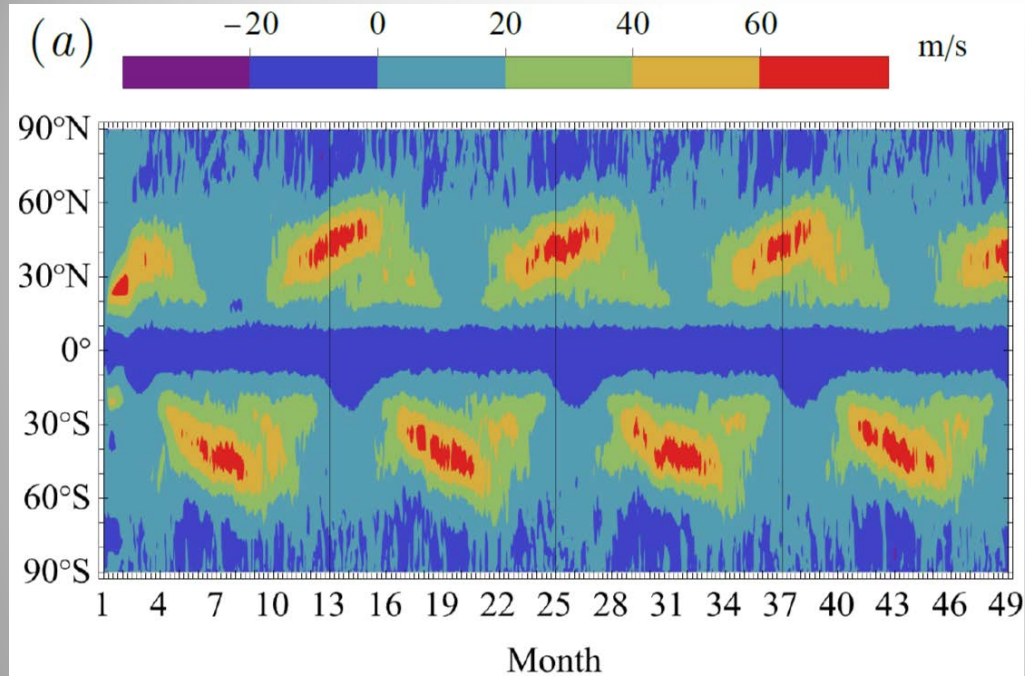
Январь

Апрель

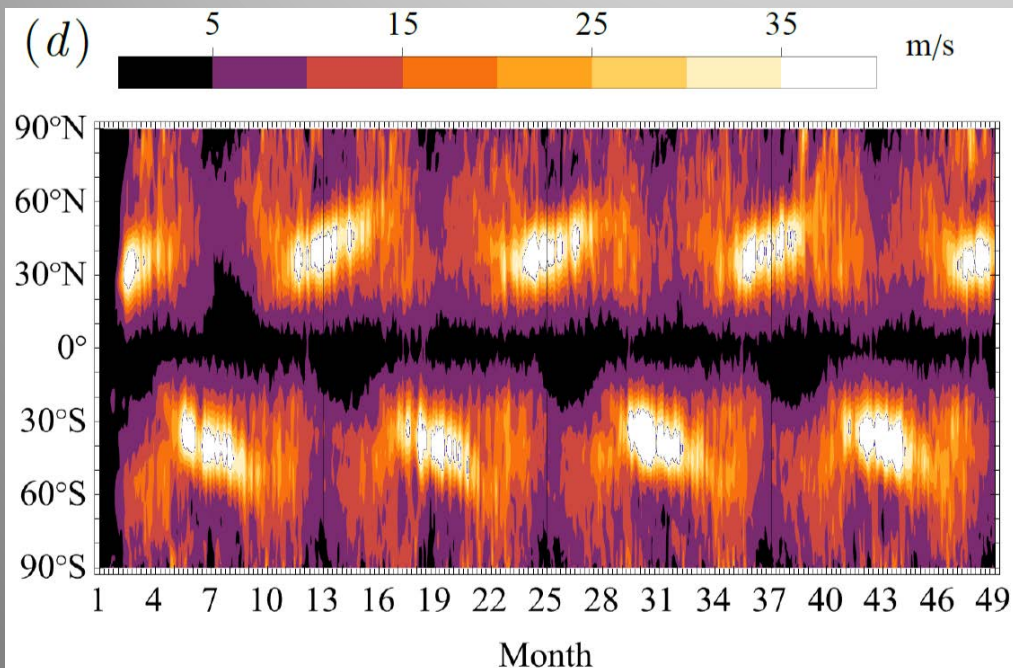
Июль

Временные вариации вертикальных профилей различных характеристик



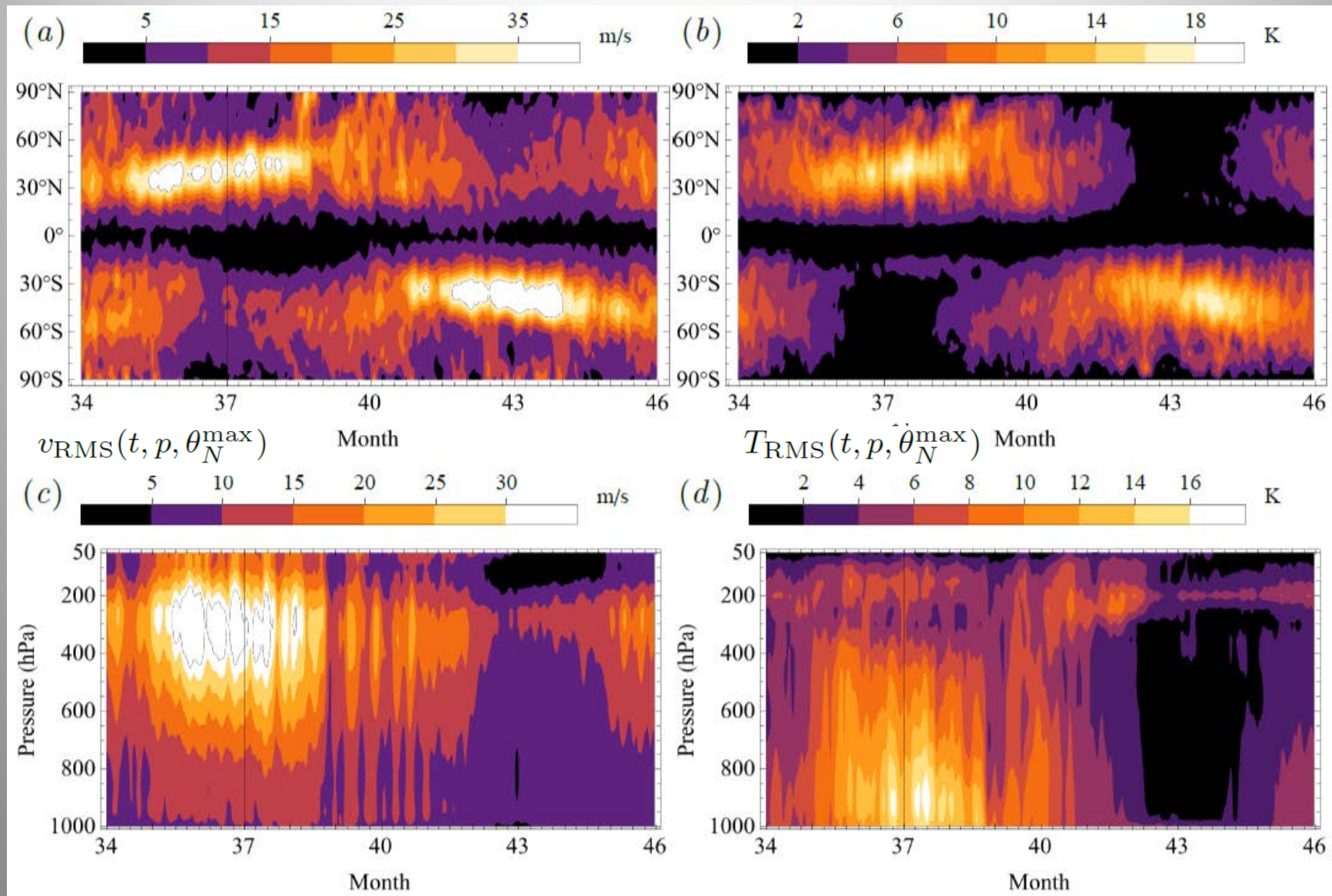


Временные вариации
широтных профилей
средней зональной
скорости и пульсаций
меридиональной
скорости

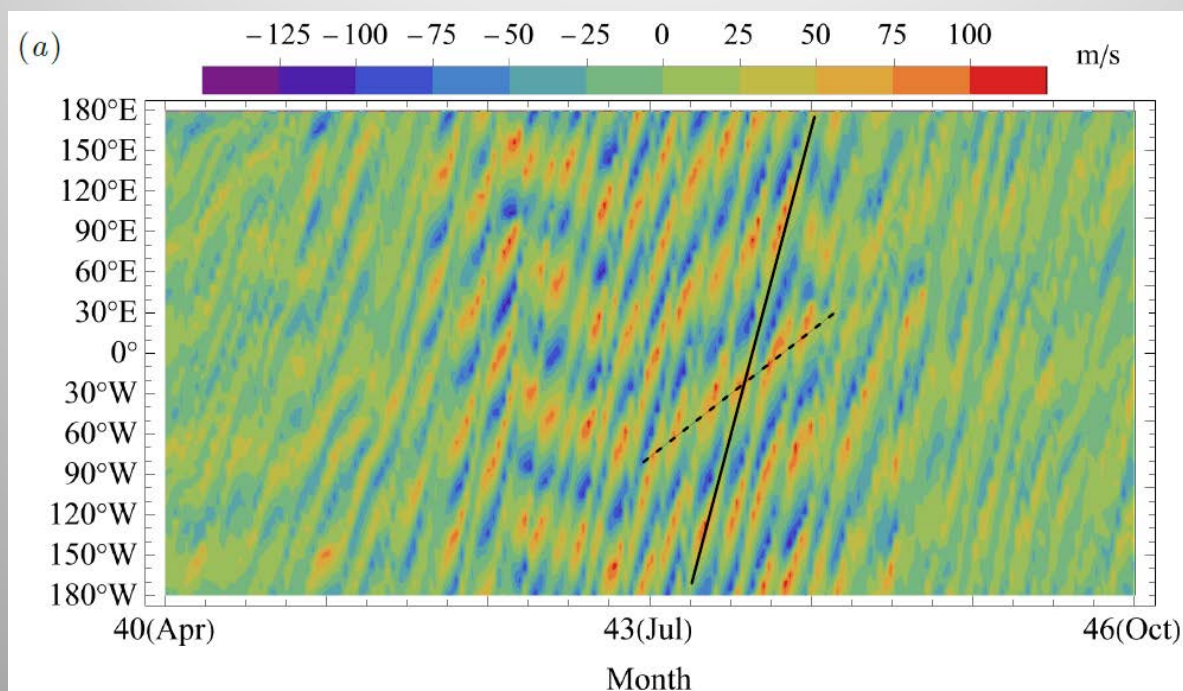


Качественно годовичные
циклы хорошо
воспроизводятся,
однако есть
количественные
отличия

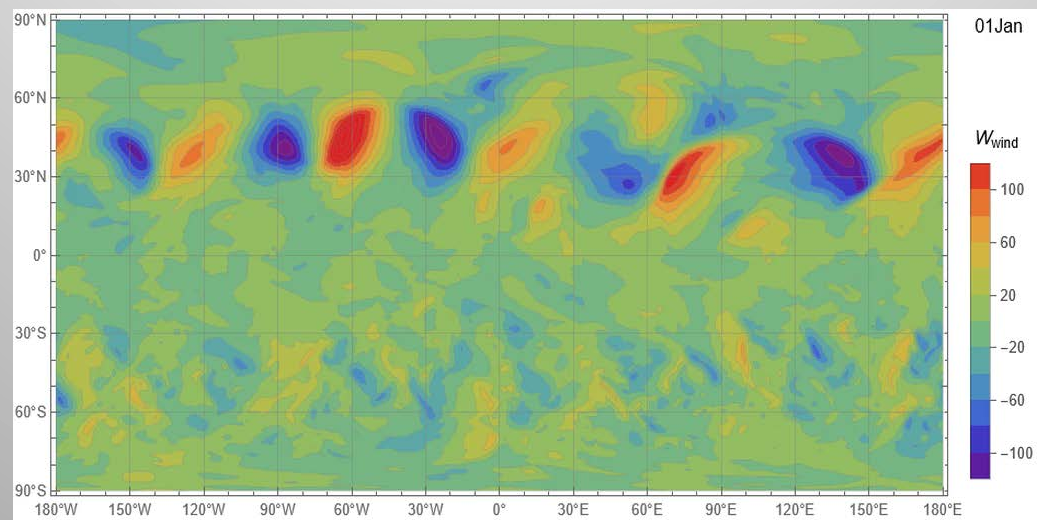
Один годичный цикл



Диаграммы Ховмеллера (время-долгота) пульсаций меридиональной скорости



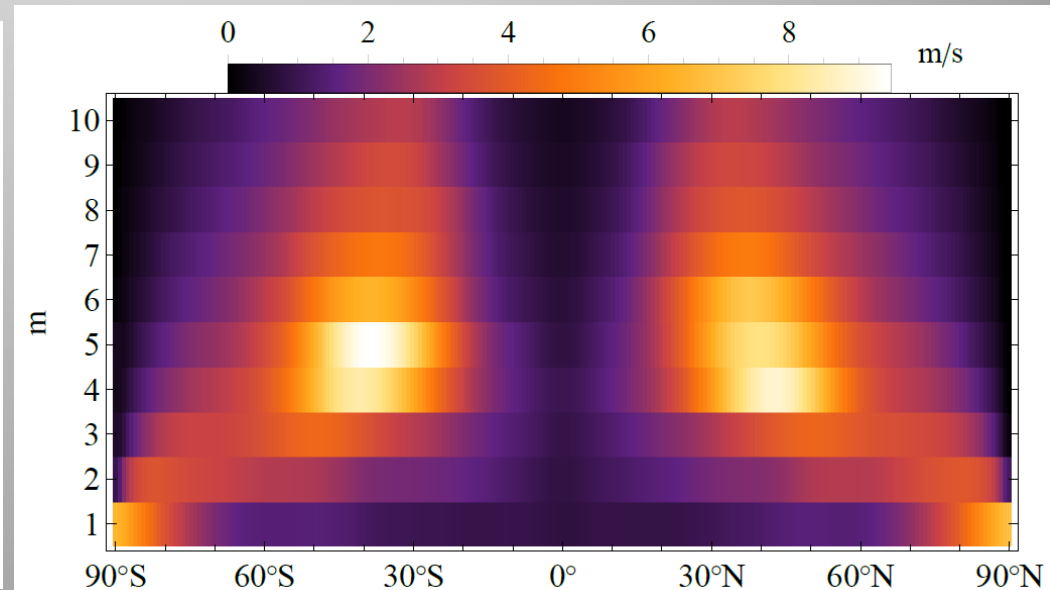
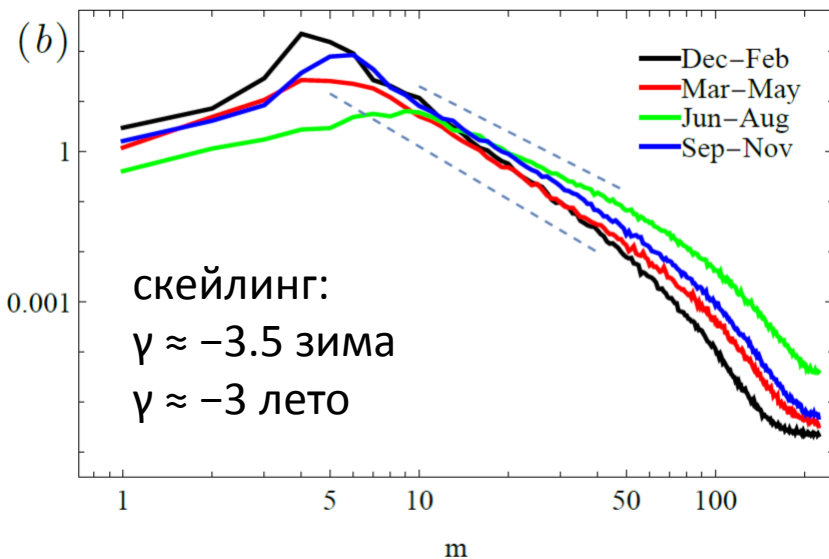
Хорошо видны сезонные вариации волновой активности и наличие выделенных мод

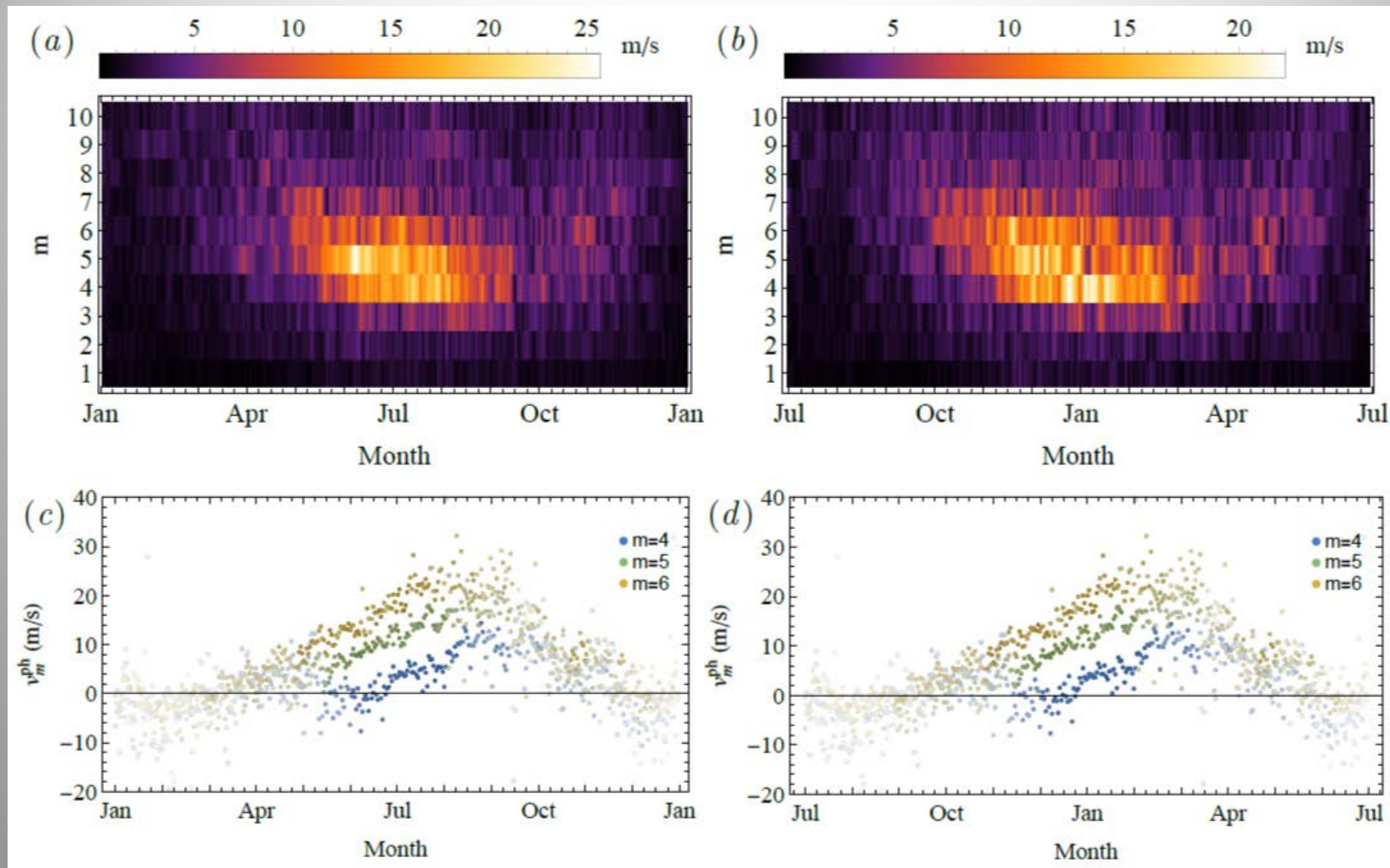


Разложение на глобальные Фурье-моды

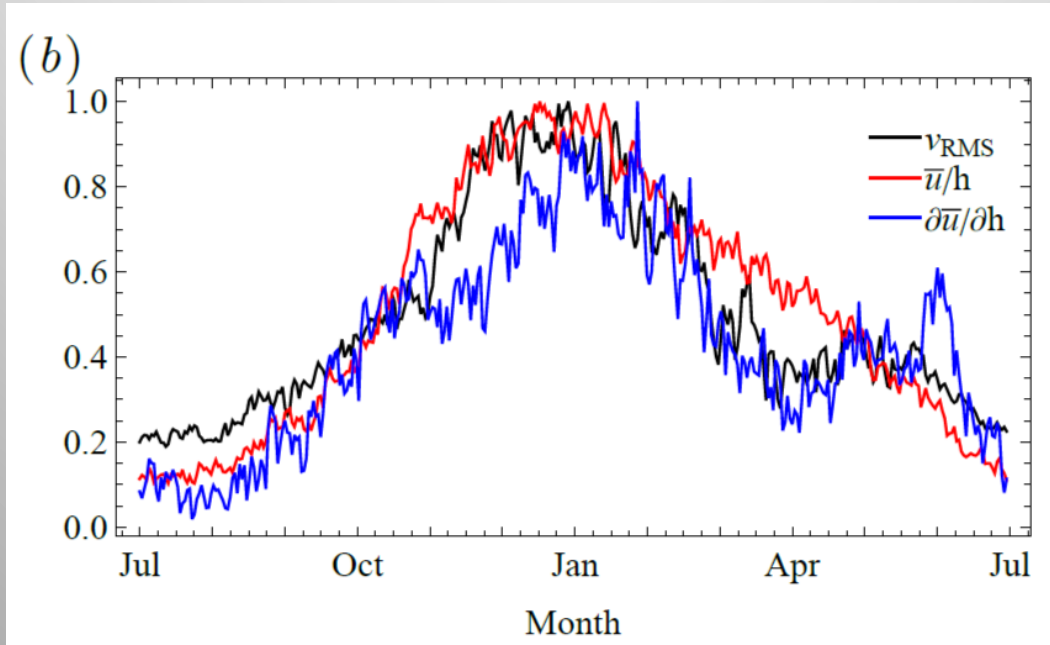
$$f_m(t, p, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t, p, \theta, \varphi) \exp(-im\varphi) d\varphi$$

$$f_m^{\text{ph}}(t, p, \theta) = \frac{R_E \cos(\theta) \arg(f_m(t + \Delta t/2, p, \theta) f_m^*(t - \Delta t/2, p, \theta))}{m\Delta t}$$





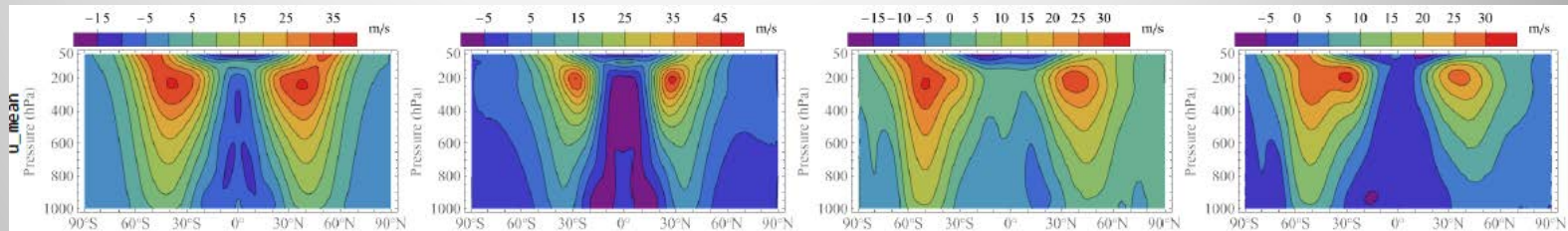
Наблюдается сезонная вариация основных мод (от 7 к 4) и заметное различие в значениях фазовой скорости, фазовая скорость растет в ходе цикла, при этом крупные моды движутся медленнее.



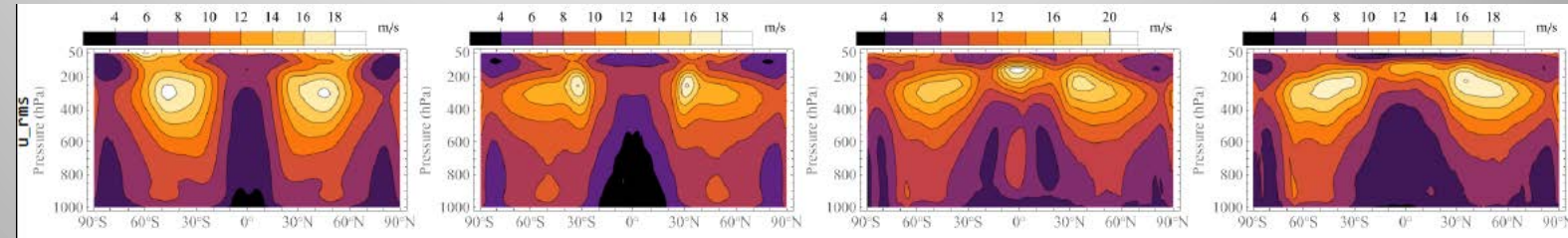
Связь критериев бароклинности и волновой активности

Планета 10 - Аквапланета – WRF Земля 2012-15 – Реанализ 2012-15

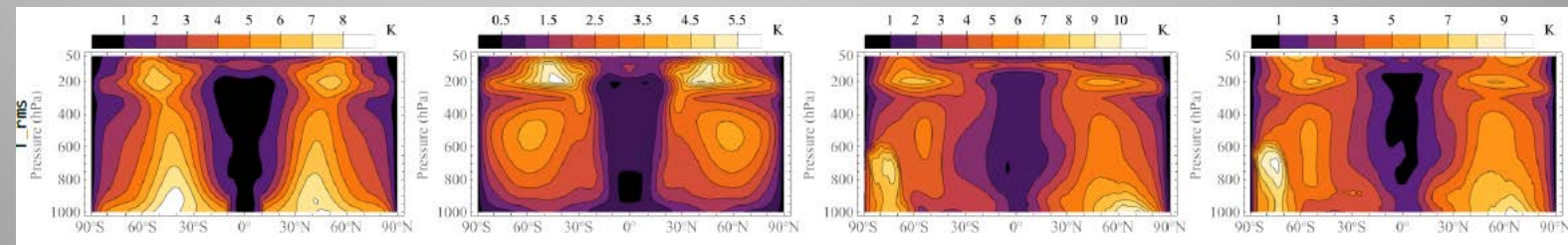
$\langle U \rangle_{4\text{years}}$



$U_{rms}_{4\text{years}}$



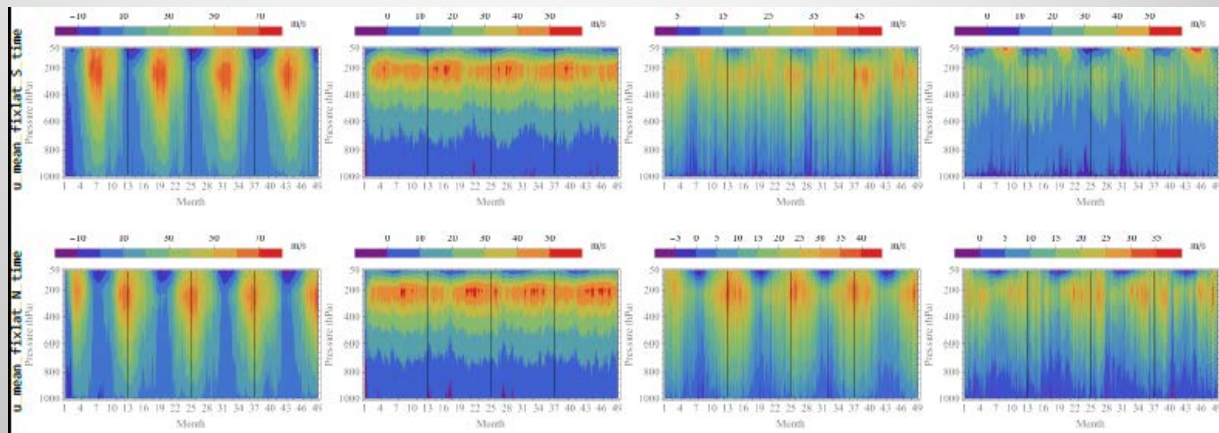
$T_{rms}_{4\text{years}}$



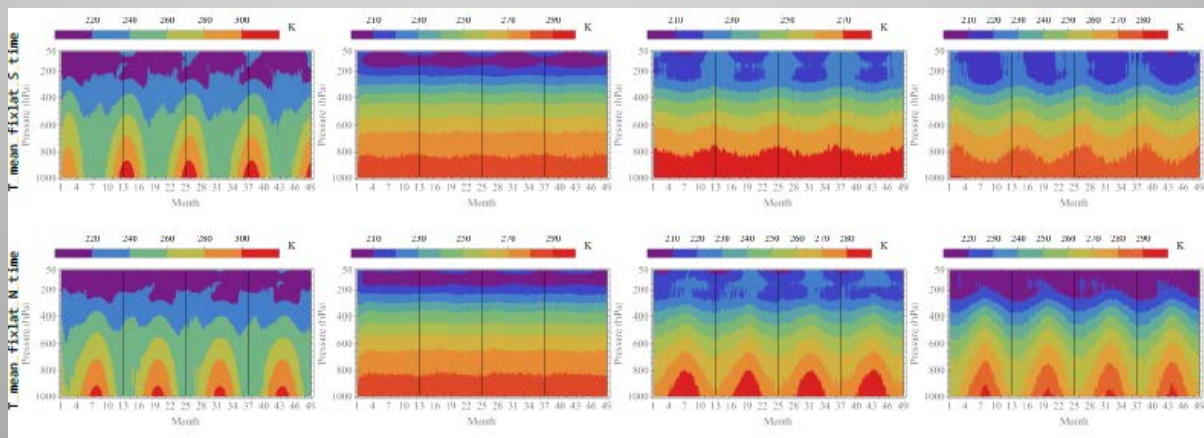
Средние за 4 года

Планета 10 - Аквапланета – WRF Земля 2012-15 – Реанализ 2012-15

U
4years



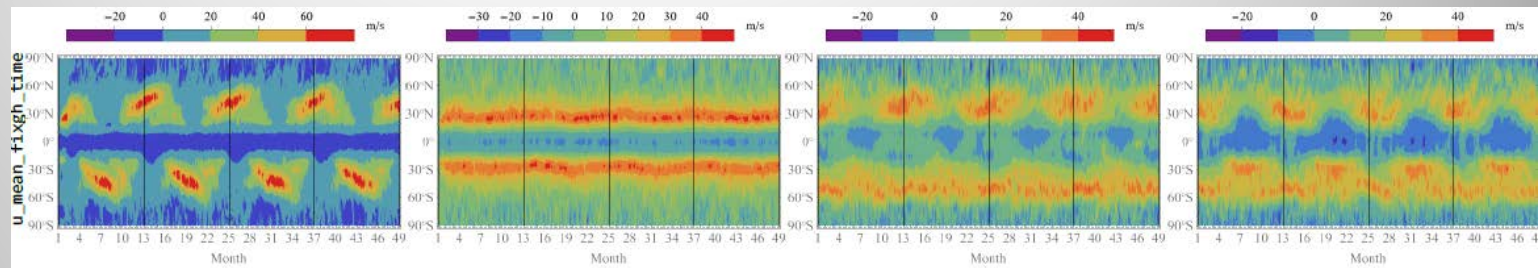
T
4years



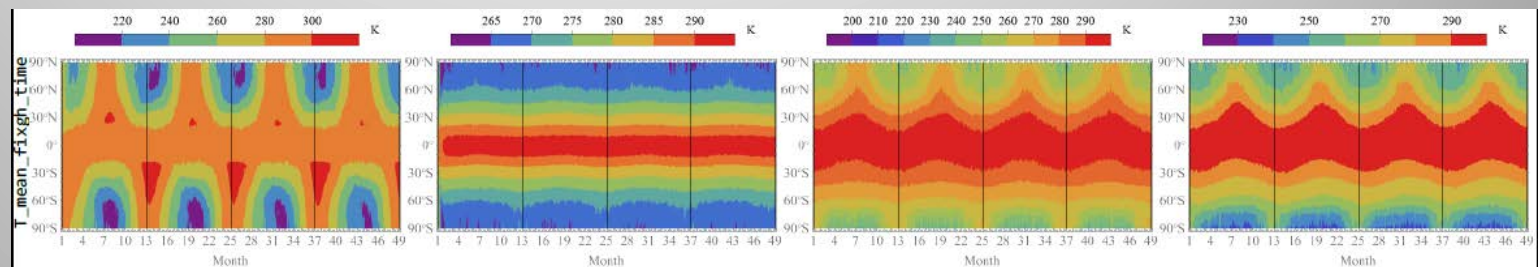
Вариации среднего на фиксированной широте (по полушариям)

Планета 10 - Аквапланета – WRF Земля 2012-15 – Реанализ 2012-15

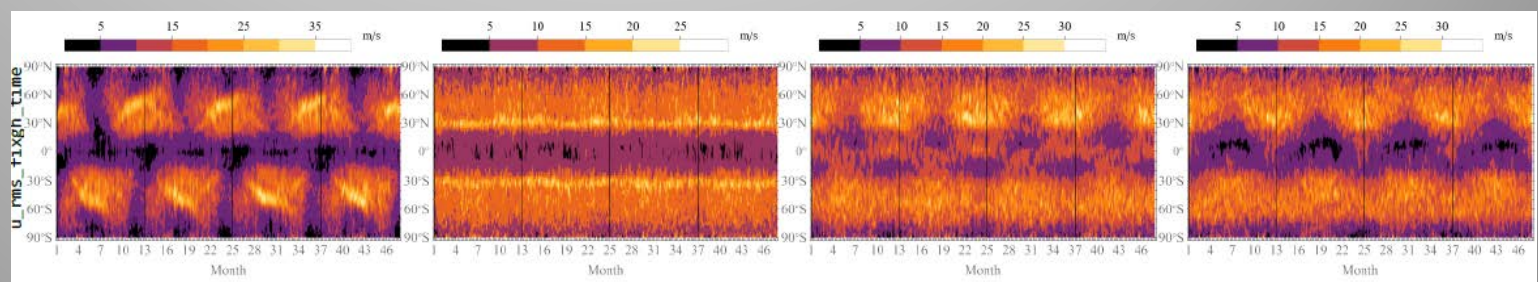
U
4years



T
4years

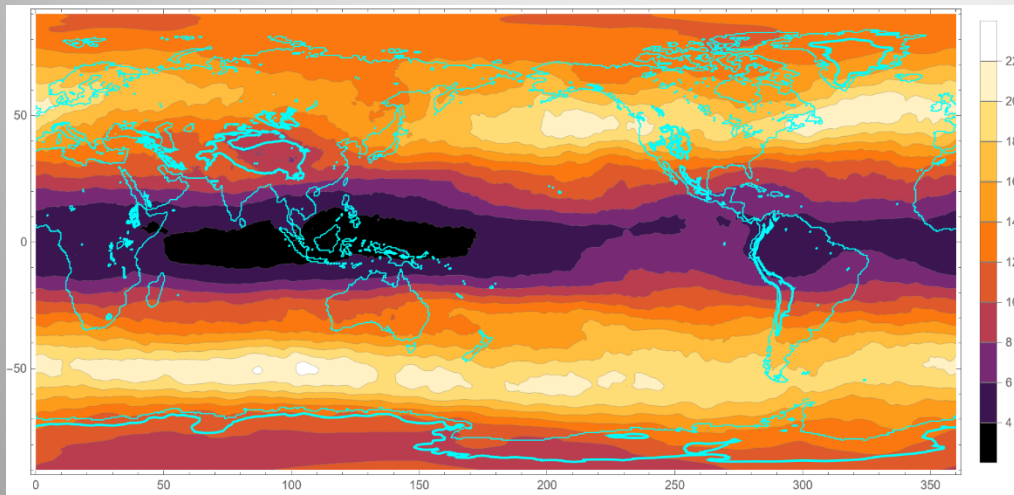


Urms
4years

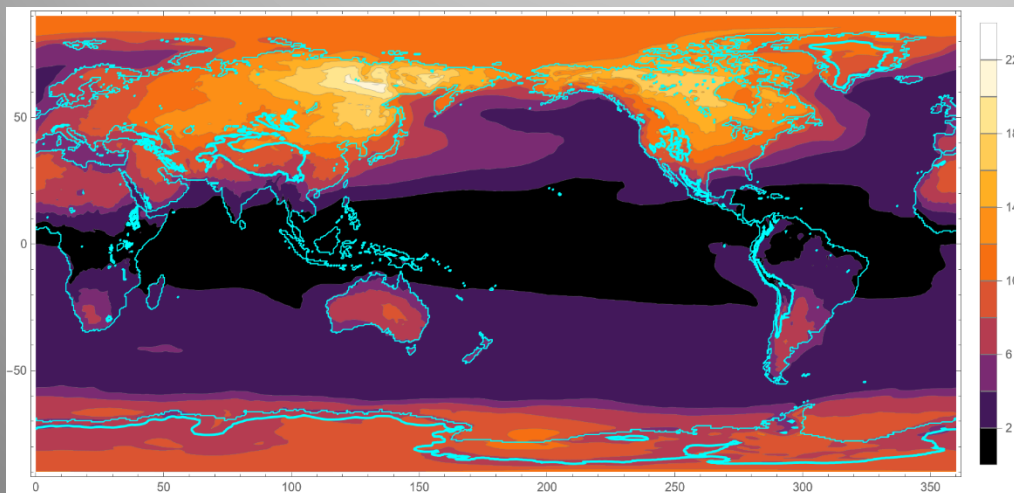


Вариации среднего на фиксированной высоте
(u – 300 hPa, T – 900 hPa)

Распределение пульсаций скорости и температуры на Земле по данным реанализа за 2012-2015гг.



r.m.s. V на высоте 300 hPa



r.m.s. T на высоте 1000 hPa

Заключение

Исследована упрощенная модель земной атмосферы, которая, с одной стороны, точно воспроизводит реальные характеристики Земли, а с другой - предельно упрощает конфигурацию материков и океанов и полностью игнорирует топологию реальной планеты.

Показано, что сохранение относительно небольшого экваториального океана на фоне плоской, пустынной планеты достаточно для воспроизведения общей циркуляции атмосферы и динамики среднеширотных волновых и вихревых структур, реалистичных для Земли.

Идеализированная система воспроизводит пространственную структуру возникающих бароклинных волн, и их сезонную динамику. Моды с волновыми числами 3-8 содержат большую часть энергии волн. Спектры для высших мод характеризуются выделенным наклоном ($\gamma \approx -3,5$ для зимнего сезона и $\gamma \approx -3$ для летнего).

Наблюдается изменение доминирующей моды в сезон бароклинных волн (с 7 до 4). Фазовая скорость бароклинных волн постепенно увеличивается с временной задержкой для различных волновых мод. Показана высокая корреляция между интенсивностью бароклинных волн и параметром Иди.