

# Внутренние гравитационные волны вблизи мезопаузы по наблюдениям ночной эмиссии гидроксила

Popov A. A.<sup>1</sup>, Gavrilov N. M.<sup>1</sup>, Perminov V. I.<sup>2</sup>, Pertsev N. N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University, Atmospheric Physics Department, Saint Petersburg, Russian Federation (andrew.popovix@gmail.com)

<sup>2</sup>A.M.Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Science, Moscow, Russia. (v.i.perminov@yandex.ru)

# Введение

2

- ▶ Метод цифровых разностных фильтров был применен для анализа данных спектральных наблюдений вращательной температуры колебательно возбужденного гидроксила на Звенигородской научной станции ИФА РАН ( $56^{\circ}$  с.ш.,  $37^{\circ}$  в.д.) в 2000-2023 годах
- ▶ Для включения поправок и устранения инструментального шума используются полуэмпирические формулы, а также метод анализа статистических свойств структурных функций характеристик ночных свечений.
- ▶ Изучены сезонные и межгодовые изменения средней температуры и интенсивности вариаций с периодами 0,8 – 11 часа. Эти изменения могут быть связаны с распространением внутренних гравитационных волн (ВГВ) в области мезопаузы.

# Разности регистрируемых характеристик.

3

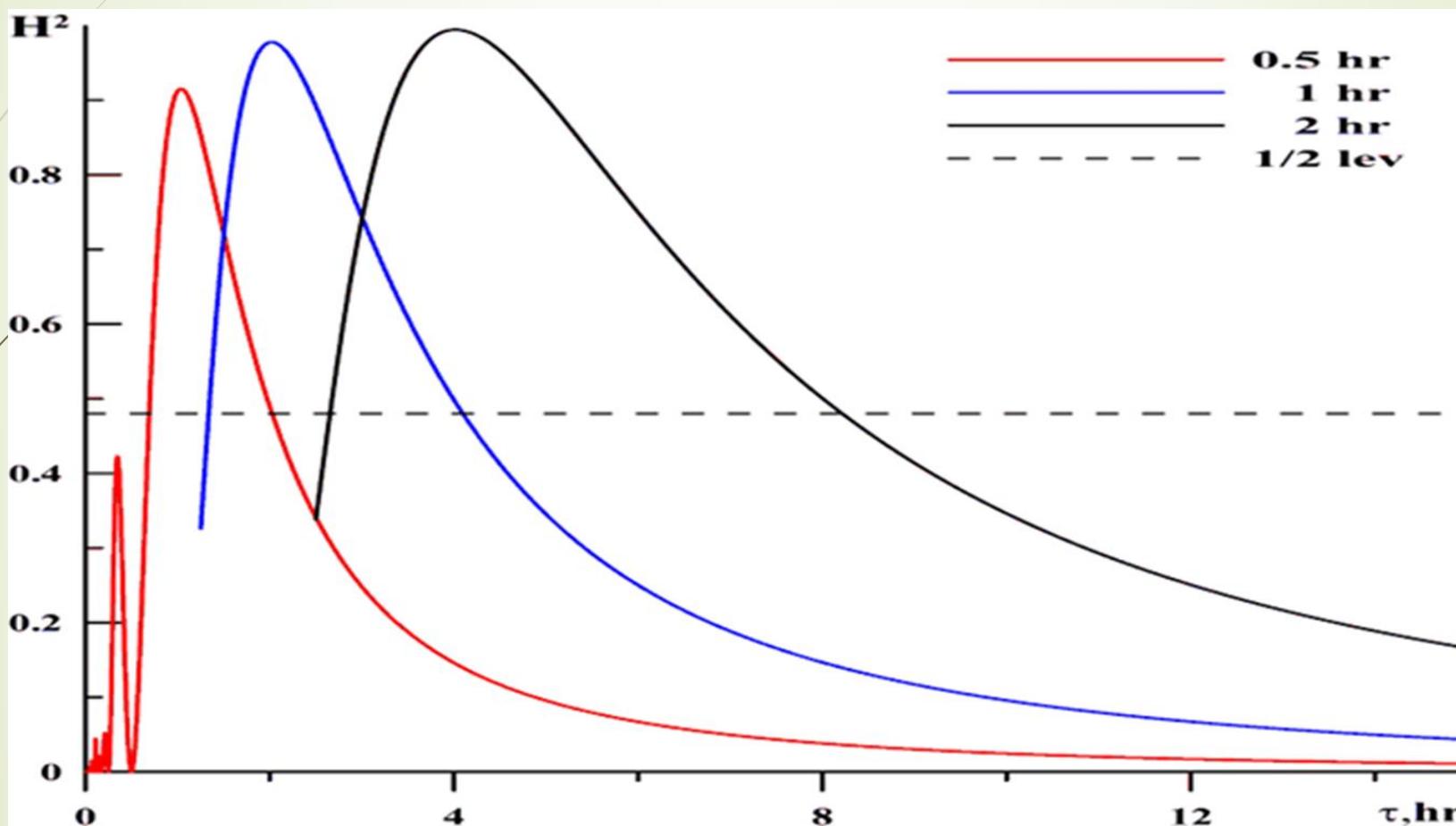
Для оценки интенсивности мезомасштабных возмущений в области мезопаузы использована численная фильтрация путем вычисления разностей между регистрируемыми значениями характеристик ночного свечения которые усредняются прибором за время накопления  $\delta t$ .

$$f'_i(\Delta t) = [\bar{f}(t_i + \Delta t) - \bar{f}(t_i)] / 2. \quad (3)$$

функция пропускания разностного фильтра

$$H^2(\tau) = (r_1 r_2)^2 = \frac{\sin^2(\pi \Delta t / \tau) \sin^2(\pi \delta t / \tau)}{(\pi \Delta t / \tau)^2}. \quad (4)$$

# Функция пропускания фильтра модифицированного метода разности регистрируемых характеристик.



$\Delta t = 10$  мин и  $\Delta t = 0,5$  ч (красный),  $\Delta t = 1$  ч (синий) и  $\Delta t = 2$  ч (черный). Горизонтальная линия показывает половинные значения от максимумов функции.

Периоды  $\tau_m$ , соответствующие максимумам  $H^2$  и низкочастотной  $\tau_0$ , и высокочастотной  $\tau_h$  границам полосы пропускания на уровне 0.5 от максимумов для фильтров.

$\Delta t, \text{ч}$	$\tau_m, \text{ч}$	$\tau_0, \text{ч}$	$\tau_h, \text{ч}$
0.5	1.0	0.7	2.0
1	2.0	1.4	4.1
2	4.0	2.7	8.2

**Формулы для связи амплитуд  
волновых вариаций горизонтальной  
скорости  $U$  и потенциальной  
волновой энергии  $E_p$  с  
мезомасштабной дисперсией и  
средним значением температуры**

$$U = \frac{g}{N} \sqrt{\frac{2\alpha \overline{T'^2}}{T_0^2}}; \quad E_p = \frac{g^2}{2N^2} \frac{\overline{T'^2}}{T_0^2} \quad (5)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $N$  – частота Брента-Вяйсяля,  $T_0$  – среднемесячная температура,  $\alpha$  - это отношение кинетической энергии волны к потенциальной энергии.

# Полный некогерентный шум.

7

Регистрируемый сигнал  $f(t)$  можно записать в виде суммы когерентного во времени атмосферного мезомасштабного процесса  $S(t)$  и некогерентного шума:

$$\bar{f}(t) = S(t) + s(t). \quad (7)$$

Для нахождения величины  $\langle S^2 \rangle$  необходимо определить дисперсию некогерентного шума  $\langle s^2 \rangle$ ,

$$d_f^2(\Delta t) = D_f(\Delta t) / 4 = a_0^2 + a_1 \Delta t + O(\Delta t^2), \quad (8)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  – постоянные коэффициенты, причем

$$\langle s^2 \rangle = 2a_0^2. \quad (9)$$

Когда измерены только два значения  $df(\Delta t)$  и  $df(2\Delta t)$  значение  $a_0$  можно вычислить по формуле

$$a_0^2 = \langle s^2 \rangle / 2 = 2d_f^2(\Delta t) - d_f^2(2\Delta t). \quad (10)$$



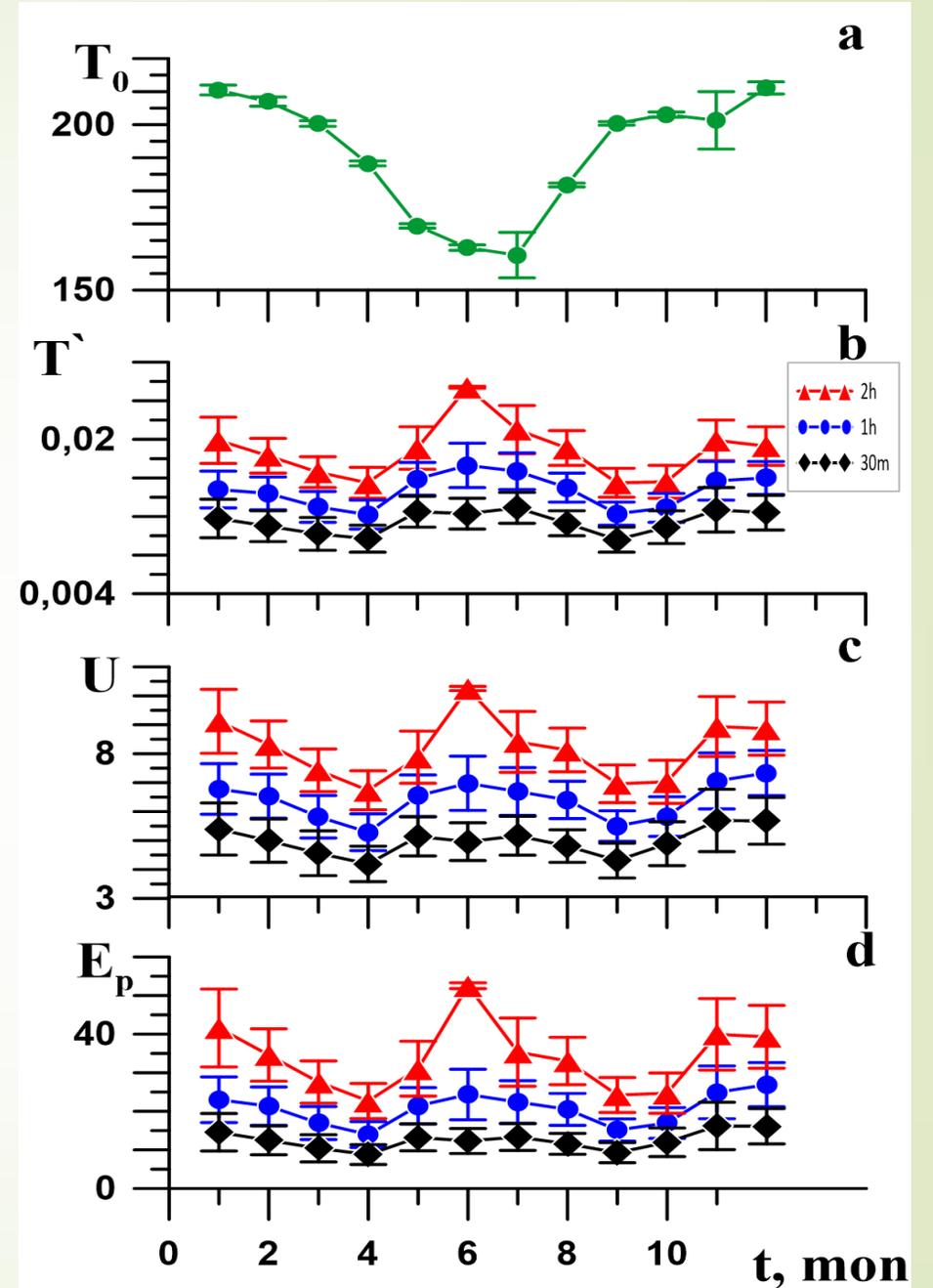
8

## **Сезонные изменения активности ВГВ**

Сезонные изменения  
 среднемесячной температуры  
 ОН в К (а), скорректированных  
 относительных дисперсий  
 разностей температуры (b),  
 дисперсий горизонтальных  
 скоростей в м/с (с), и удельной  
 потенциальной энергии в Дж/кг  
 (d).

10

для фильтров  $\Delta t = 0,5$  ч (1),  $\Delta t = 1$  ч (2) и  $\Delta t = 2$  ч (3)..



Звенигород

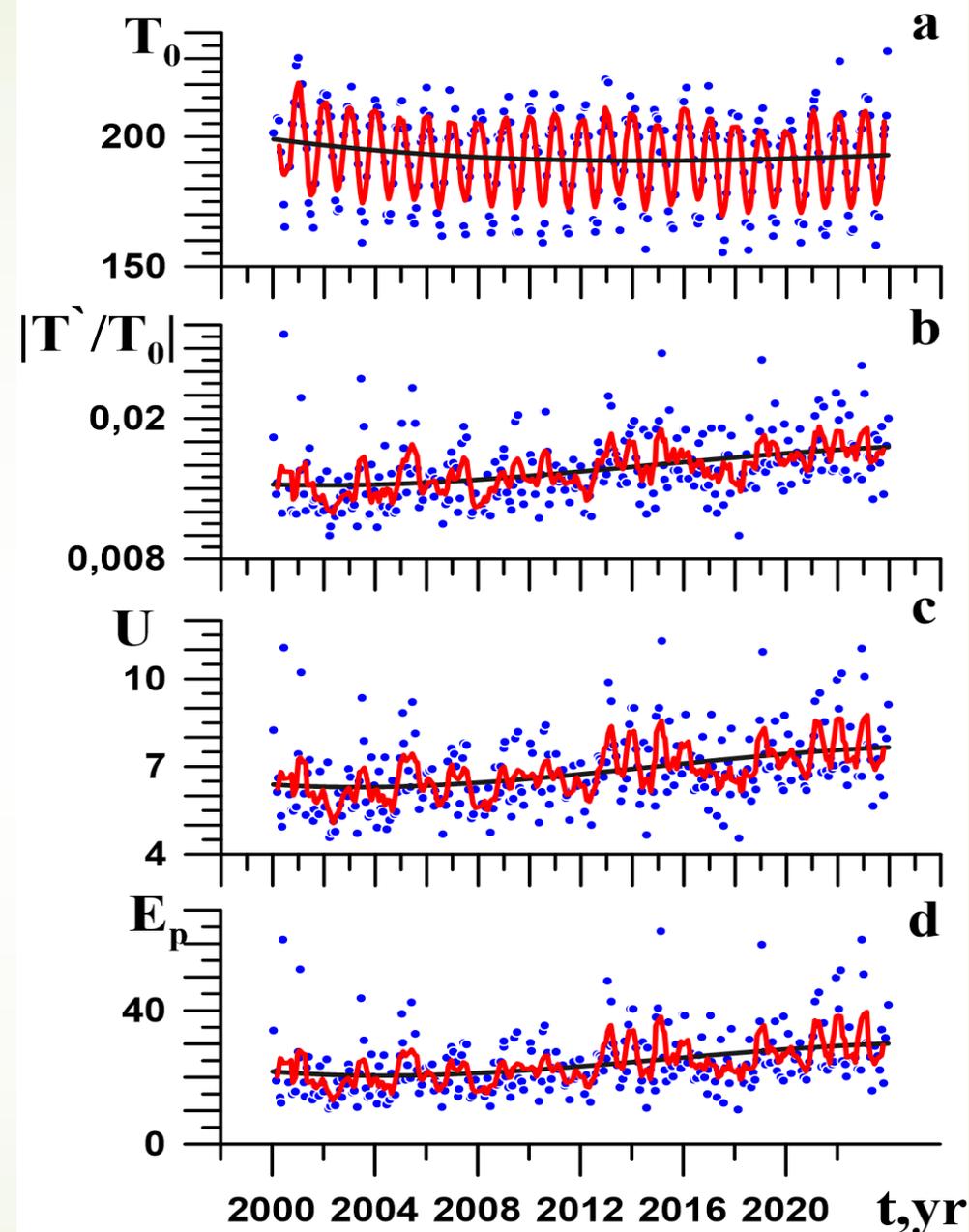
# Междугодовые изменения активности ВГВ

10

Изменения среднемесячных температур ОН в К (а), относительных дисперсий температуры (b), скорректированных дисперсий горизонтальной скорости в м/с (с) и удельной потенциальной энергии в Дж/кг (d) для  $\Delta t = 1$  ч.

11

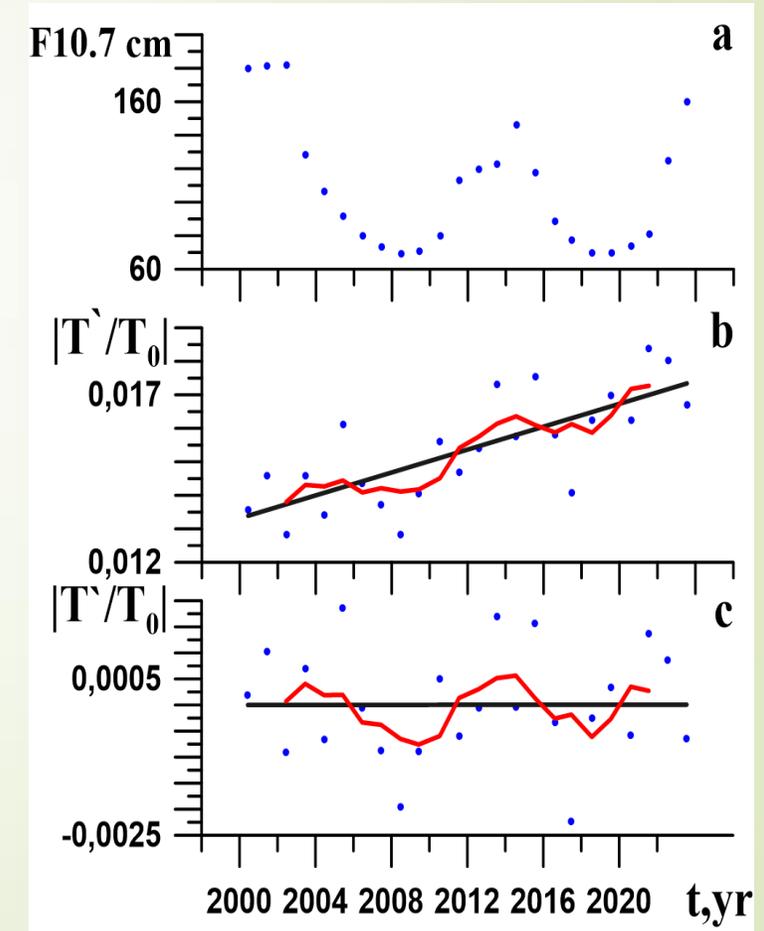
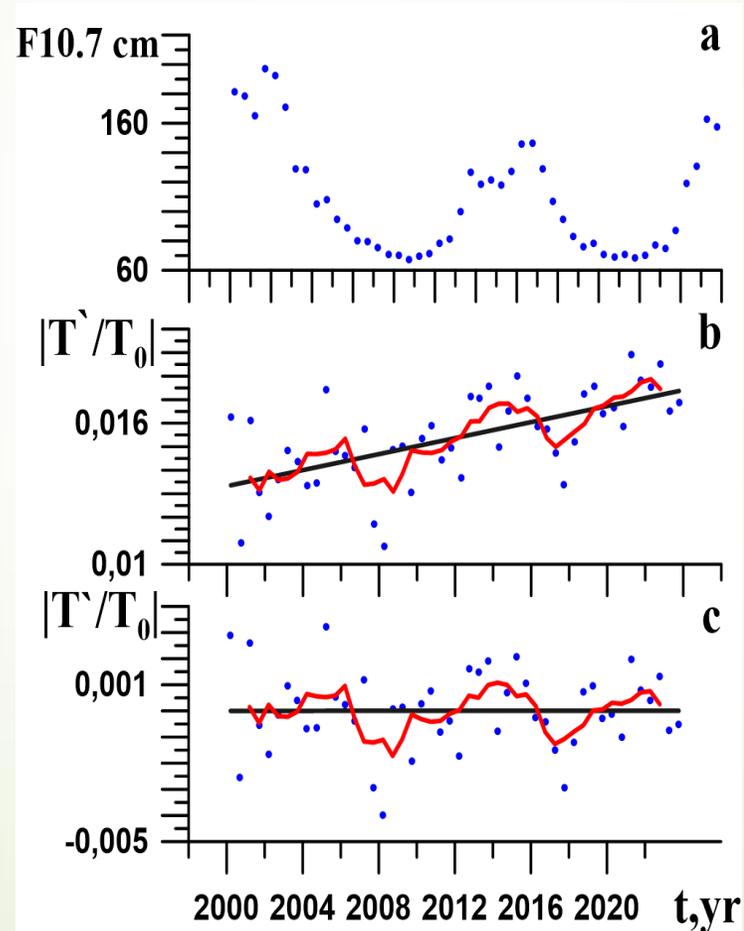
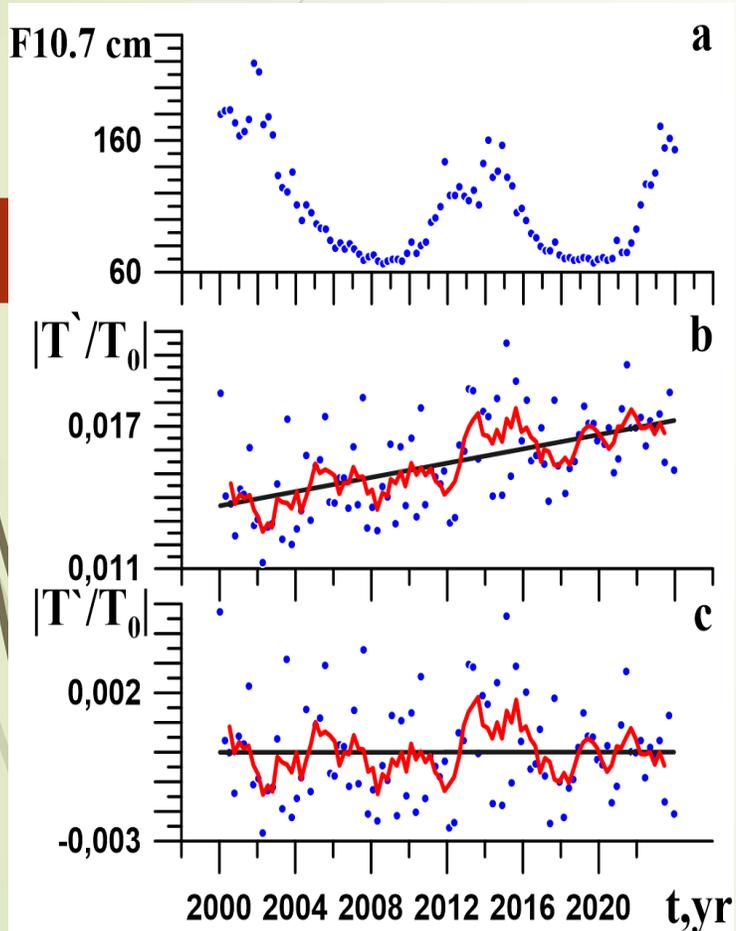
Линии соответствуют 7-месячному бегущему среднему и кубичной полиномиальной аппроксимации.



Звенигород

**Влияние солнечной активности на  
изменения, относительных дисперсий  
температуры.**

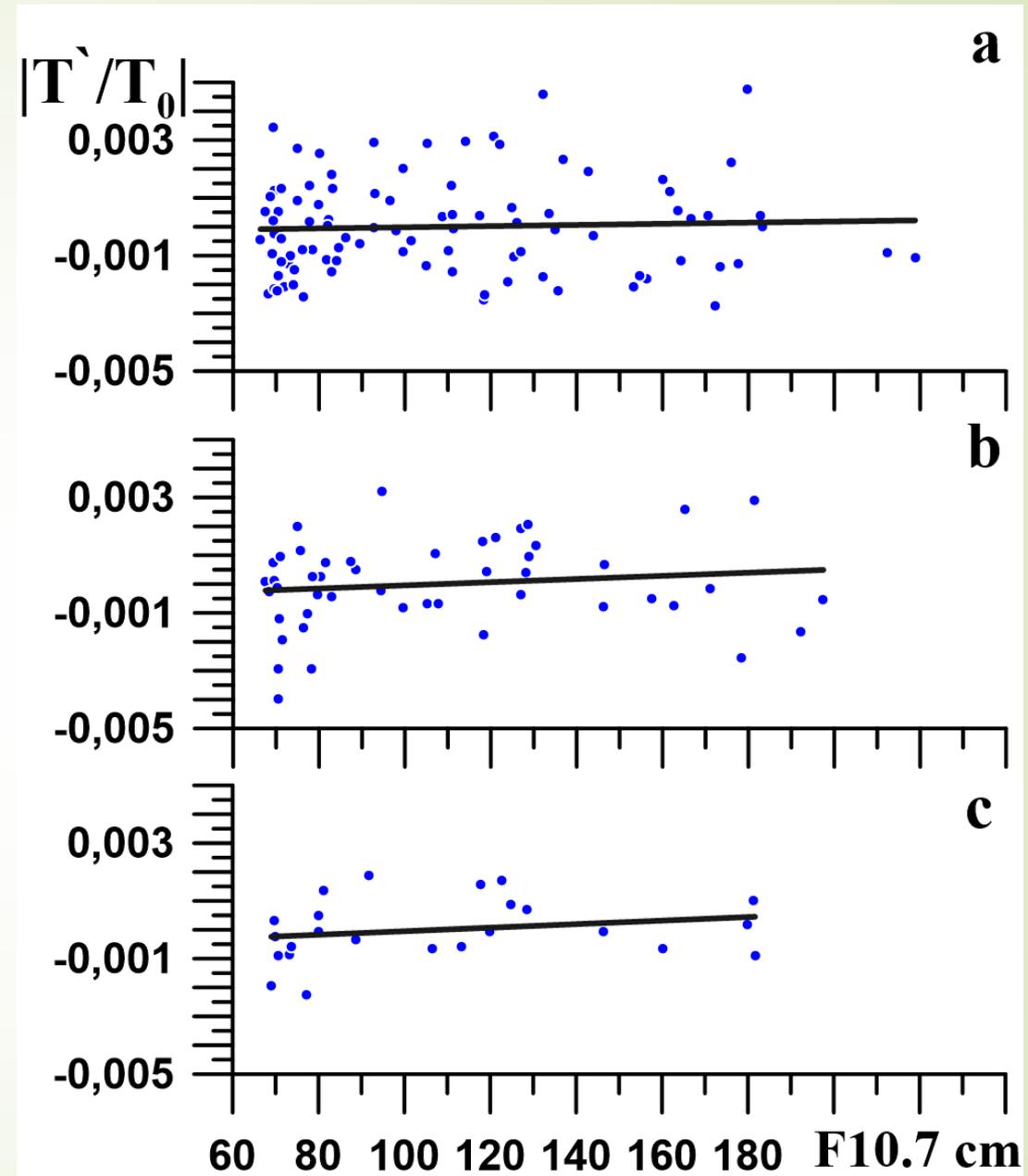
Изменения индекса солнечной активности F10.7 (а), относительных дисперсий температуры (b) и относительных дисперсий температуры без учета тренда (с), осредненных за три месяца (слева), полгода (центр) и год (справа) для  $\Delta t = 1$  ч.



# Зависимость относительных дисперсий температуры от индекса солнечной активности F10.7.

Осреднение производилось по трем месяцам (а), за полгода (b) и год (c).

	Год	Полгода	Три месяца
R	0.22	0.14	0.05



# Заключение

15

- **Метод разностной числовой фильтрации применен для анализа данных наблюдений вариаций интенсивности свечения и вращательной температуры молекулы ОН вблизи мезопаузы.**
- **Изученные сезонные и межгодовые изменения среднемесячной температуры и интенсивности ночного свечения ОН, а также среднемесячных стандартных отклонений их возмущений с периодами в диапазоне 0,8 – 11 ч, связанные с распространением ВГВ вблизи мезопаузы.**
- **Многолетние вариации месячных относительных стандартных отклонений ВГВ демонстрируют общий рост.**
- **Было обнаружено влияние солнечной активности на изменения, относительных дисперсий температуры.**