

# **О ДИНАМИКЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СКОРОСТИ АТМОСФЕРНЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ТЕЧЕНИЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

**А.Ю. Шиховцев, П.Г. Коваadlo, В.П. Лукин, А.В. Киселев**

Институт солнечно-земной физики СО РАН  
Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН

**БАЙКАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА  
ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ**

**Иркутск 2017**

## **Цель:**

Выявить особенности долгосрочной динамики атмосферной оптической турбулентности в месте расположения Большого солнечного вакуумного телескопа.

## **Задачи:**

1. Оценить вариации эффективной скорости турбулентных течений, как интегральной характеристики мелкомасштабной турбулентности в слое от 0 до 20 км, за период с 1948 по 2016 г.
2. С использованием спектрального подхода, основанного на учете турбулентности в широком пространственно-временном диапазоне определить динамику радиуса Фрида, характеризующего качество астрономических изображений.

- Послойное распределение интенсивности атмосферной турбулентности с высотой.

Эффективная скорость турбулентных течений оценивается, как отношение интеграла от произведения между структурной характеристикой флуктуаций показателя преломления воздуха и скоростью потока к интегральной интенсивности турбулентности в «активном» слое атмосферы толщиной  $H \sim 20$  км:

$$V_{5/3} = \left( \left( \int_0^H C_n^2(h) V(h)^{5/3} dh \right) / \left( \int_0^H C_n^2(h) dh \right) \right)^{3/5}$$

При расчетах профиль структурной характеристики флуктуаций показателя преломления воздуха задавался в виде:

$$C_n^2(z) = C_n^2(z_*) \cdot \exp(-z/2000) + C_{n1}^2 \cdot \exp(-z/6000) + C_{n2}^2 \cdot \exp\left(-\left(\frac{z-z_c}{h_c}\right)^2\right)$$

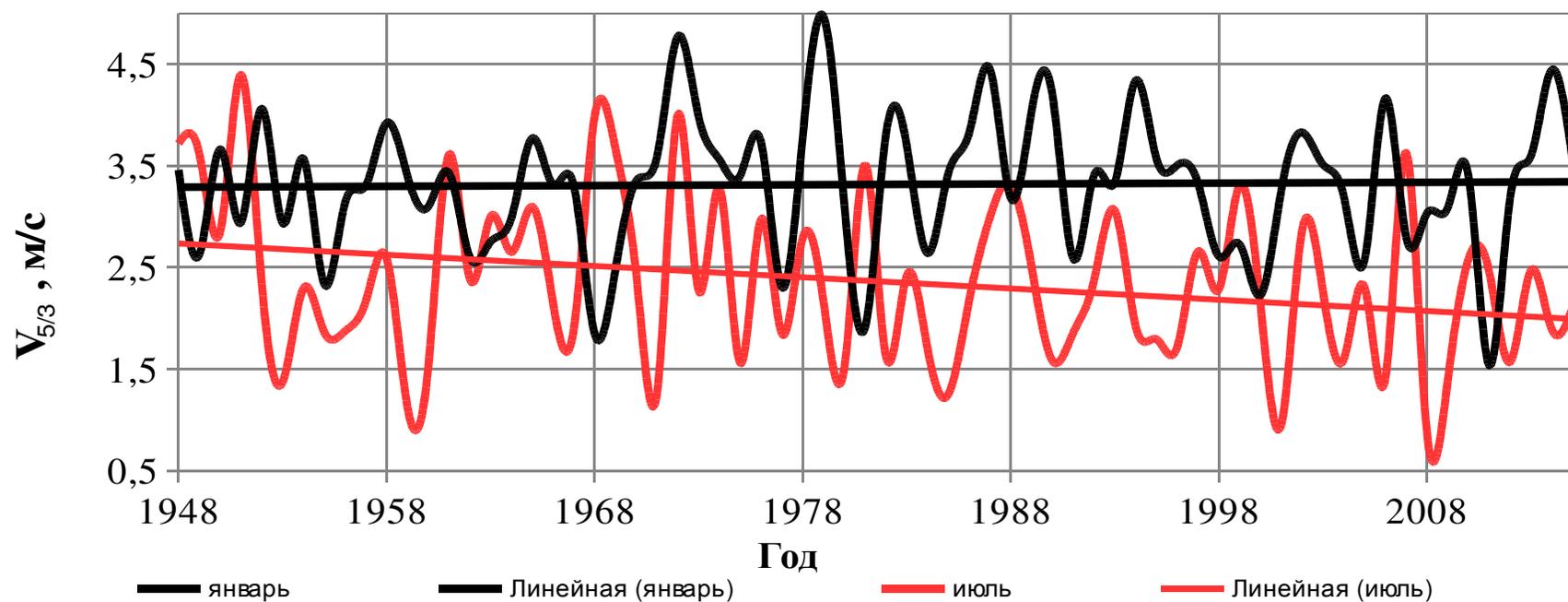


Рис.1 Расчетные значения вариации эффективной скорости турбулентных течений за период с 1948 г. по 2016 г.

Уменьшение средних значений эффективной скорости турбулентных течений в летний период за 1948 — 2016 г. на 0.8 м/с — признак улучшения условий астрономических наблюдений.

Эволюция искажений волнового фронта при эффективной скорости 3.4 м/с происходит с частотой ~ 230 Гц, с уменьшением эффективной скорости в летний период частота снижается до 170 Гц. Эта информация может быть использована для АО.

$$C_n^2(z) = C_n^2(z_*) \cdot \exp(-z / 2000) + C_{n1}^2 \cdot \exp(-z / 6000) + C_{n2}^2 \cdot \exp\left(-\left(\frac{(z - z_c)}{h_c}\right)^2\right)$$

**Эффективная высота турбулентного слоя:**

$$H_{eff} = \left( \frac{\int_0^H C_n^2(z) z dz}{\int_0^H C_n^2(z) dz} \right)^{3/5}$$

Эффективная высота турбулентного слоя *относительно уровня обсерватории* в месте расположения БСВТ составляет:

- **2020 м** — в зимний период и

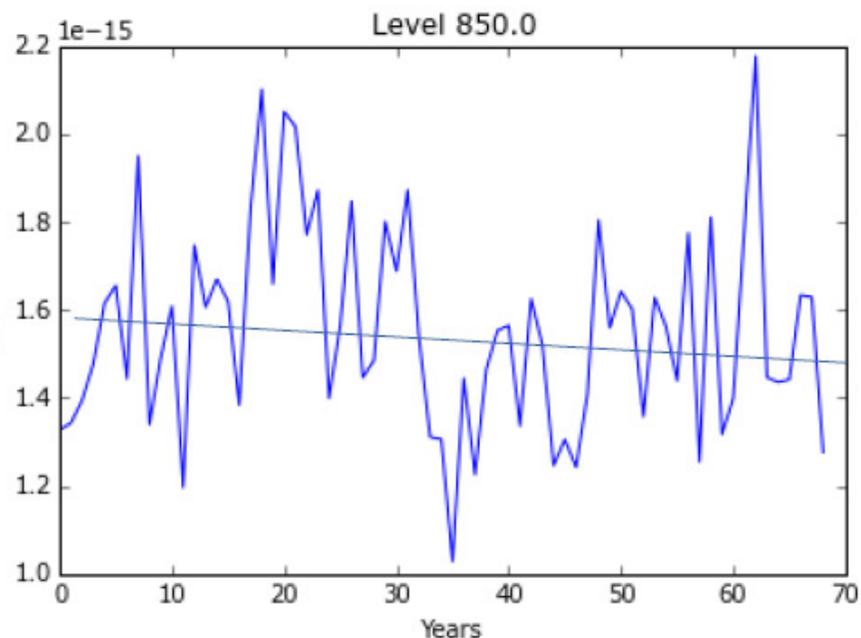
- **2540 м** — в летний период

**-Большой вклад верхних слоев в летний период**

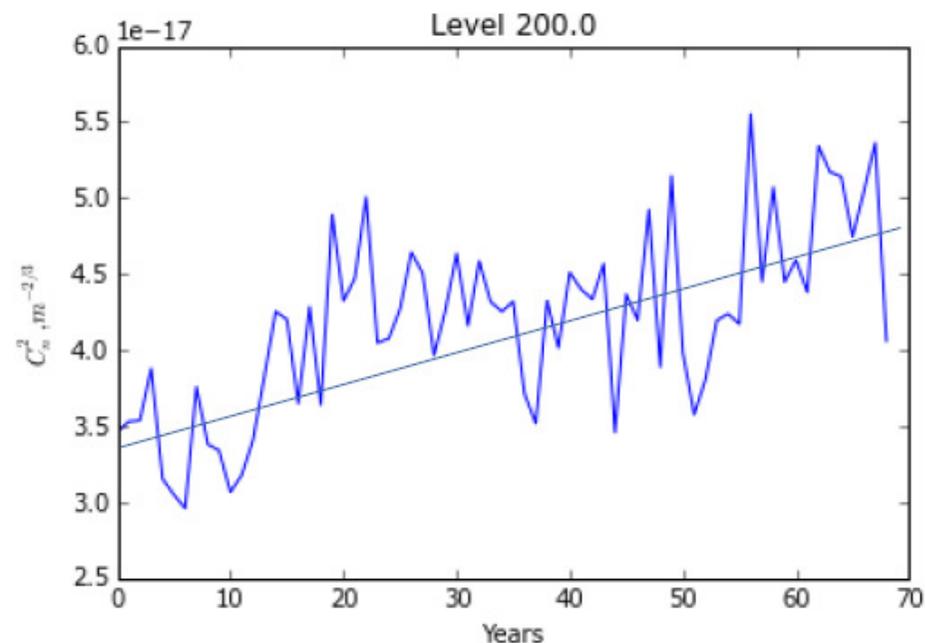
**-Меньшие эффективные высоты в сравнении с равнинными условиями**

По динамике эффективной скорости турбулентных течений однозначно судить о так называемом seeing или о другой величине — радиусе когерентности нельзя.

Динамика атмосферной турбулентности в отдельных слоях атмосферы на разных высотах



**АПС**



**Уровень струйного течения ( $z \sim 12$  км)**

Рис.2,3 Изменения структурных характеристик флуктуаций показателя преломления воздуха за период с 1948 по 2016 г. по данным реанализа на высоте 1.5 км и 12 км

**Малые изменения во времени значений радиуса Фрида, характеризуемого вертикальным профилем атмосферной оптической (мелкомасштабной) турбулентности в тропосфере и нижней стратосфере**

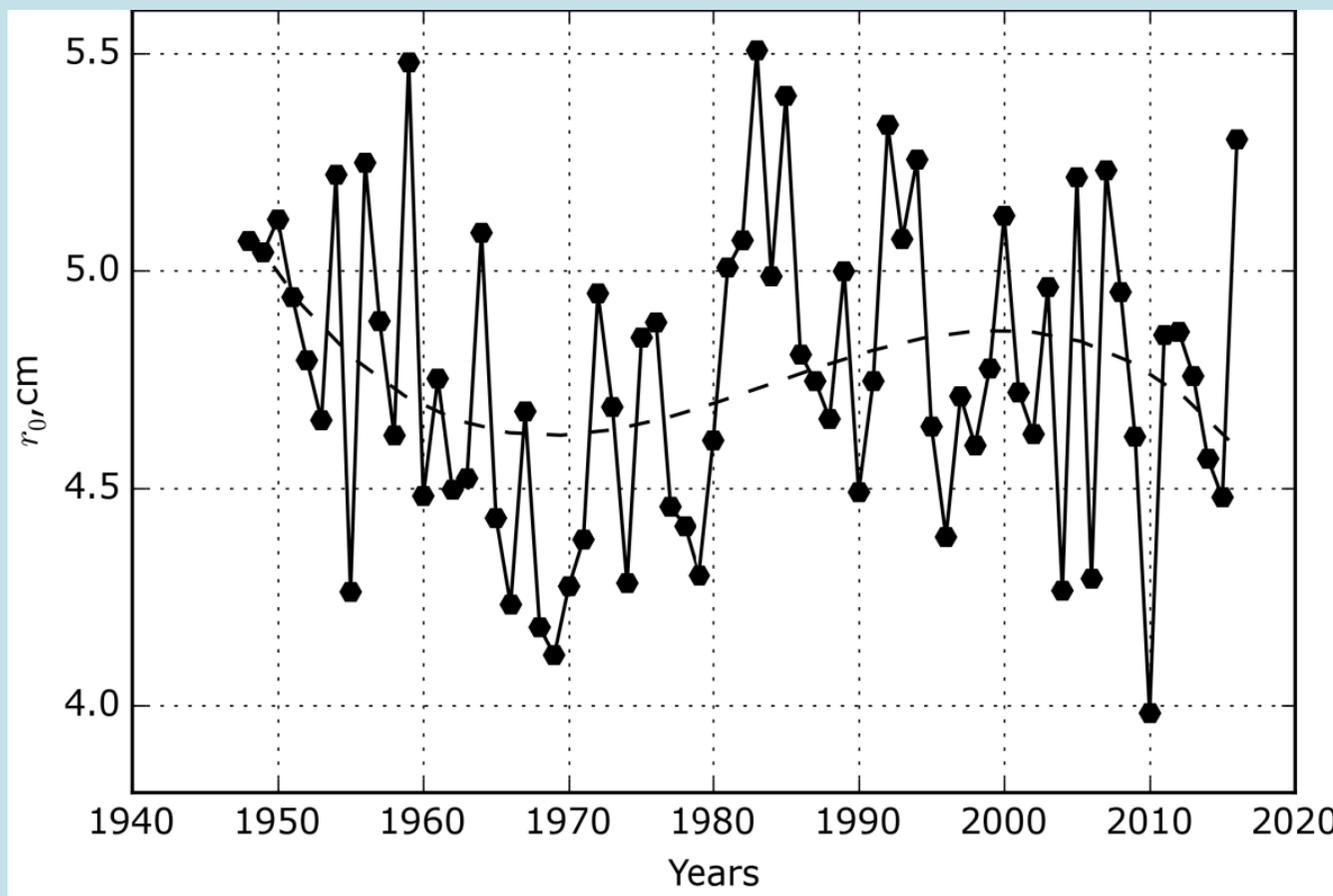
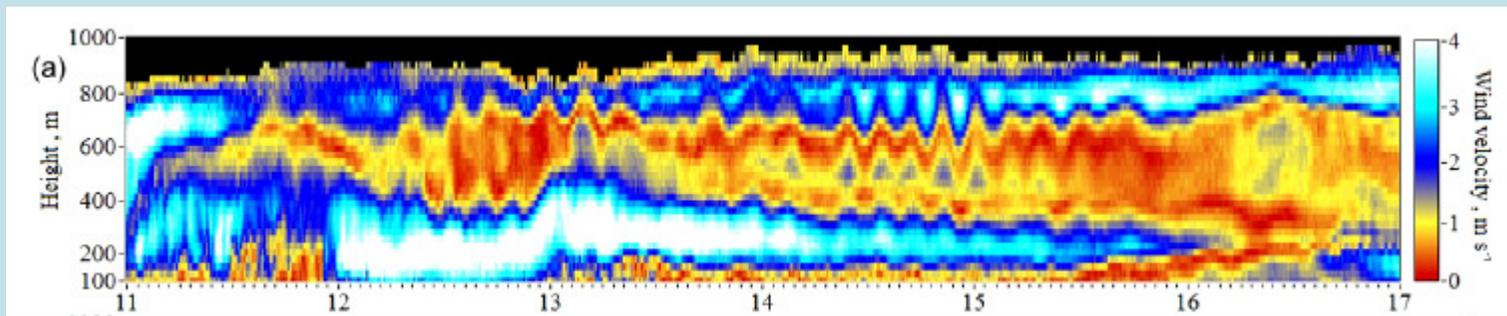


Рис. 4 Динамика расчетных значений радиуса Фрида, рассчитанного для слоя от 0 до 20 км, с 1948 по 2016 г. по данным реанализа

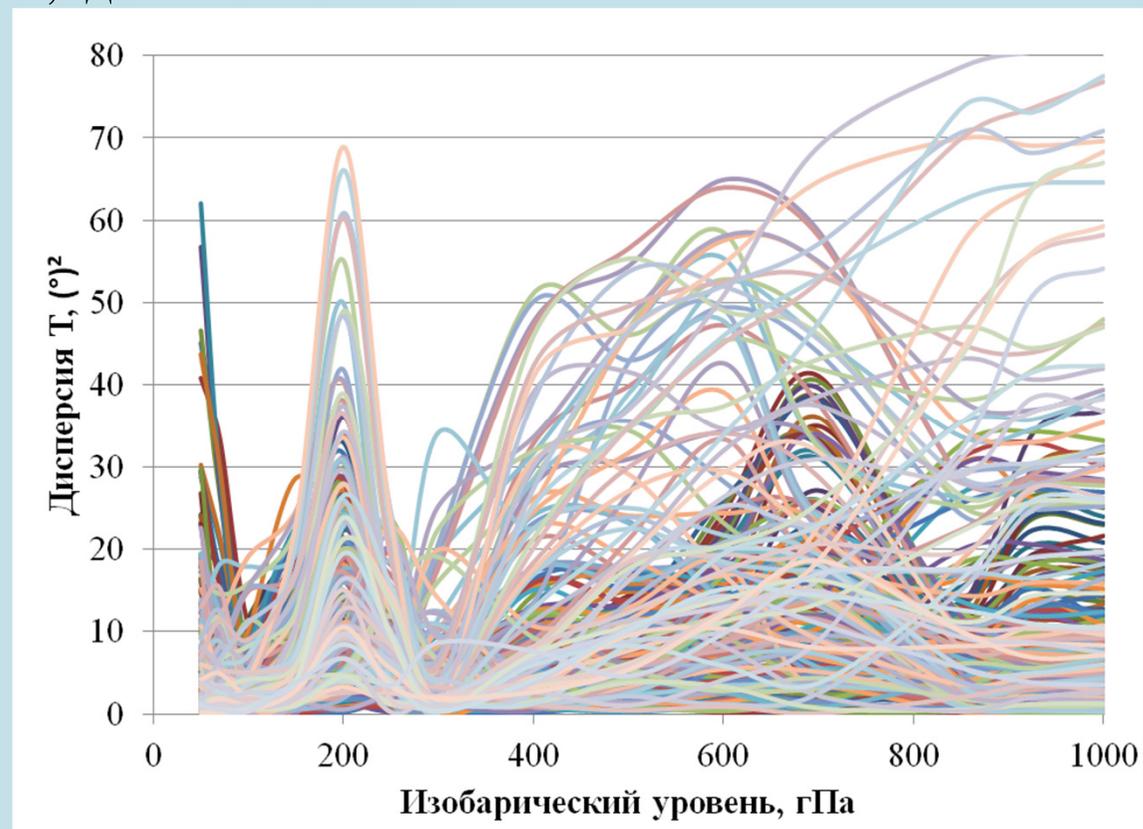
## Результаты:

1. При характерных значениях  $r_0$  от 3 до 6 см и изопланатических углах от 1,5 до 3 угл. сек эффективная высота турбулентного слоя в месте расположения БСВТ составляет 2020 м — в зимний период и 2540 м — в летний период.
2. На фоне наблюдаемого уменьшения интенсивности мелкомасштабной турбулентности в нижнем атмосферном слое растет интенсивность турбулентных флуктуаций в верхних слоях. Средние значения радиуса Фрида, интегрального параметра оптической турбулентности, слабо изменяются. С учетом разнонаправленной динамики энергии турбулентности, а также разных амплитуд изменений в нижних и верхних слоях это позволяет говорить о подстройке поля атмосферной оптической турбулентности к внешним воздействиям.
3. Полученные результаты могут служить основой для количественной оценки и выбора схемы адаптивной оптической системы, обеспечивающей коррекцию искажений волнового фронта в широком поле зрения.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**



Вертикальные профили скорости ветра, полученные из лидарных измерений над БСВТ, данные ИОА СО РАН



В высокочастотной части спектра турбулентности спектральная плотность энергии пропорциональна частоте в степени минус 5/3:

$$E_l(f) = 0.033 C_T^2 f_l^{-5/3},$$

Рассматривая энергетический спектр атмосферной турбулентности в низкочастотном диапазоне масштабов и высокочастотный диапазон, можно оценить структурную характеристику флуктуаций показателя преломления:

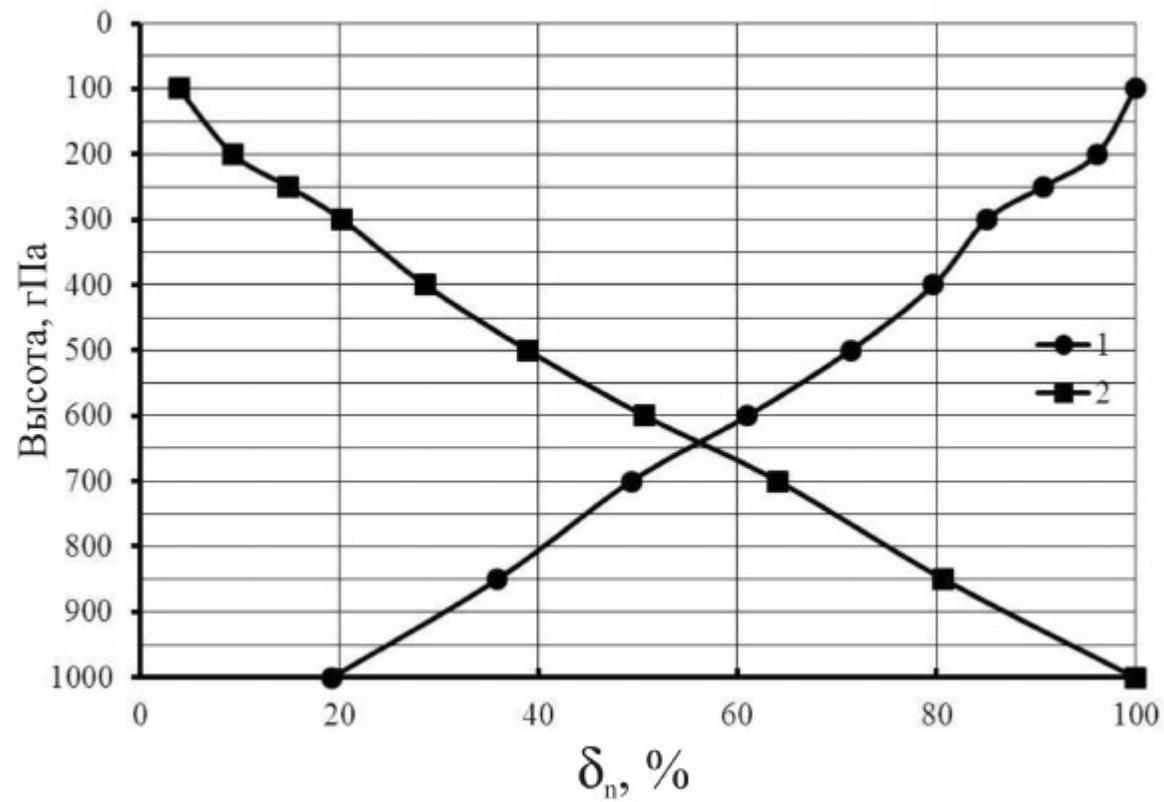
$$C_T^2 = \frac{E(f_0) \exp(-3(\ln f_l - \ln f_L) - \frac{5}{3}(\ln f_l - \ln f_l))}{0.033} f_l^{\frac{5}{3}},$$

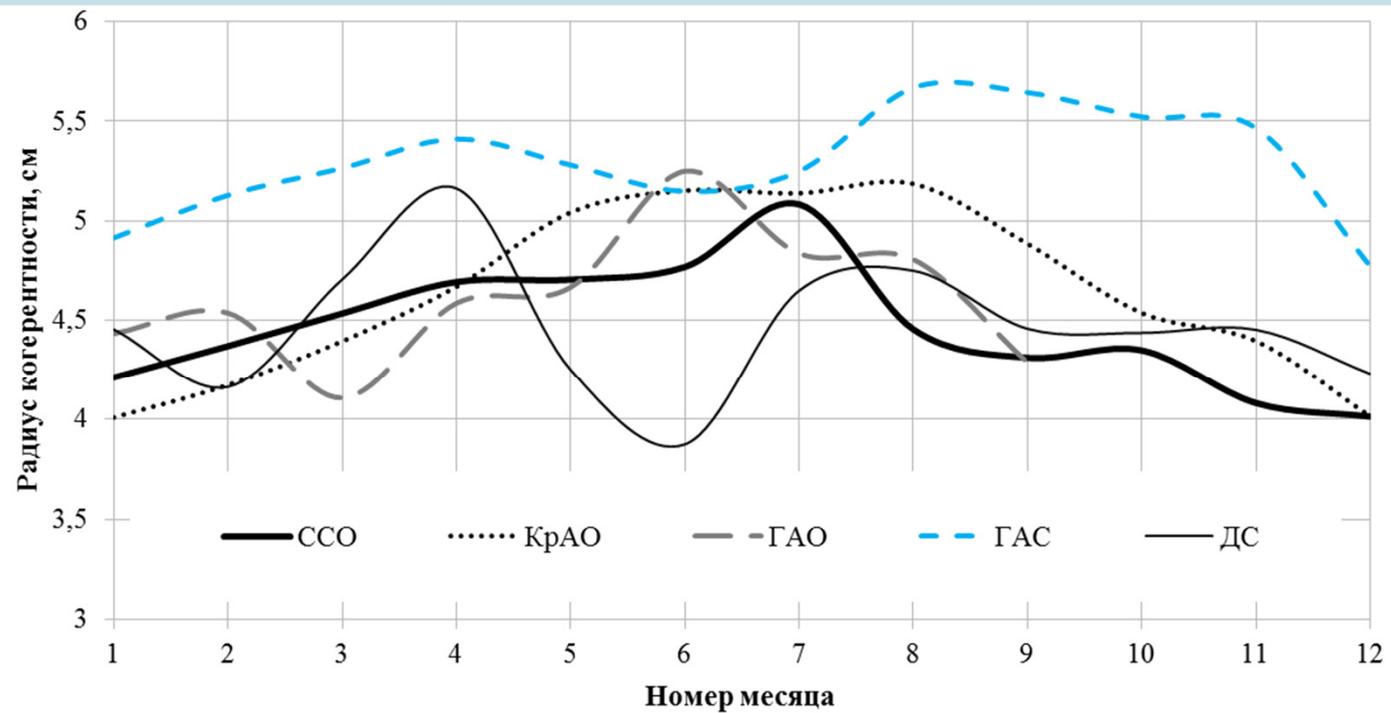
Учитывая, что средняя мощность дискретизированной функции времени равна сумме мощностей отдельных спектральных составляющих, проведем оценку структурной характеристики флуктуаций температуры воздуха по дисперсии температуры в узкой полосе частот:

$$C_T^2 = \frac{\sigma_T^2(f_0) \exp(-3(\ln f_l - \ln f_L) - \frac{5}{3}(\ln f_l - \ln f_l))}{0.033 f_0} f_l^{\frac{5}{3}}$$

$$C_T^2 = \frac{a_1 \sigma_T^2(\Delta f) \exp(-3(\ln f_l - \ln f_L) - \frac{5}{3}(\ln f_l - \ln f_l))}{0.033 f_0} f_l^{\frac{5}{3}}$$

$$, a_1 = 0.26$$





**Радиус когерентности для различных обсерваторий**

Крымская астрофизическая обсерватория (КрАО),  
 Главная астрономическая обсерватория (ГАО),  
 Горная астрономическая станция (ГАС),  
 Уссурийская астрономическая станция Дальневосточного филиала (ДС),  
 Саянская солнечная обсерватория (ССО)