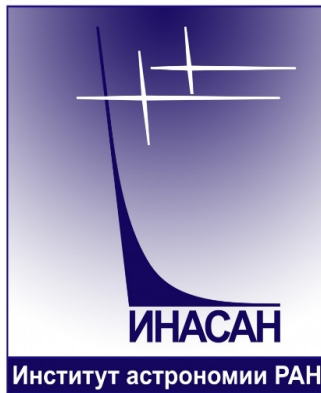


Международная конференция "Физика атмосферы и климата",  
посвященная 70-летию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН



## Оценка радиуса Фрида с использованием различных профилей $S_n^2(h)$ в различных астрономических пунктах

*Копылов Е.А.<sup>1</sup>, Одинцов С.Л.<sup>2</sup>, Невзорова И.В.<sup>2</sup>, Потанин С.А.<sup>1</sup>, Сачков М.Е.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт астрономии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия

## Актуальность исследования:

- выбор места размещения новых астрономических инструментов  
*Баланс экономической составляющей и эффективности работы инструмента;*
- задачи адаптивной оптики:  
*Повысить достоверность расчётов эффективности адаптивной оптики на этапе предпроектных работ*
- прогноз и эффективное планирование наблюдательного времени.  
*Разработка методики адаптивного планирования наблюдений в зависимости от реальных атмосферных условий*

## Цель работы:

сравнить оценки  $r_0$ , полученные по двум распространённым моделям  $C_n^2(h)$  (Хафнагель – Волли и Гурвича), для двух астрономических пунктов с разными типами подстилающей поверхности (Терскол, Ташанта) и сопоставить с экспериментальными данными

## Терминология

Радиус Фрида ( $r_0$ ) — параметр характеризующий размер пространственной когерентности атмосферной турбулентности в теории Колмогорова .

Является ключевым параметром, определяющим качество астрономических наблюдений и сложность построения АОС.

*(Условно - размер апертуры телескопа, при котором атмосфера ещё не ухудшает разрешение)*

$$r_0 = 0,185 \lambda^{6/5} (\cos \theta)^{3/5} \left( \int_{h_0}^{\infty} C_n^2(h) dh \right)^{-3/5}$$

Размер атмосферных изображений (seeing) связан с радиусом Фрида:

$$\beta'' = 0.98 \lambda / r$$

Зависимость  $C_n^2(h)$  варьируется от:

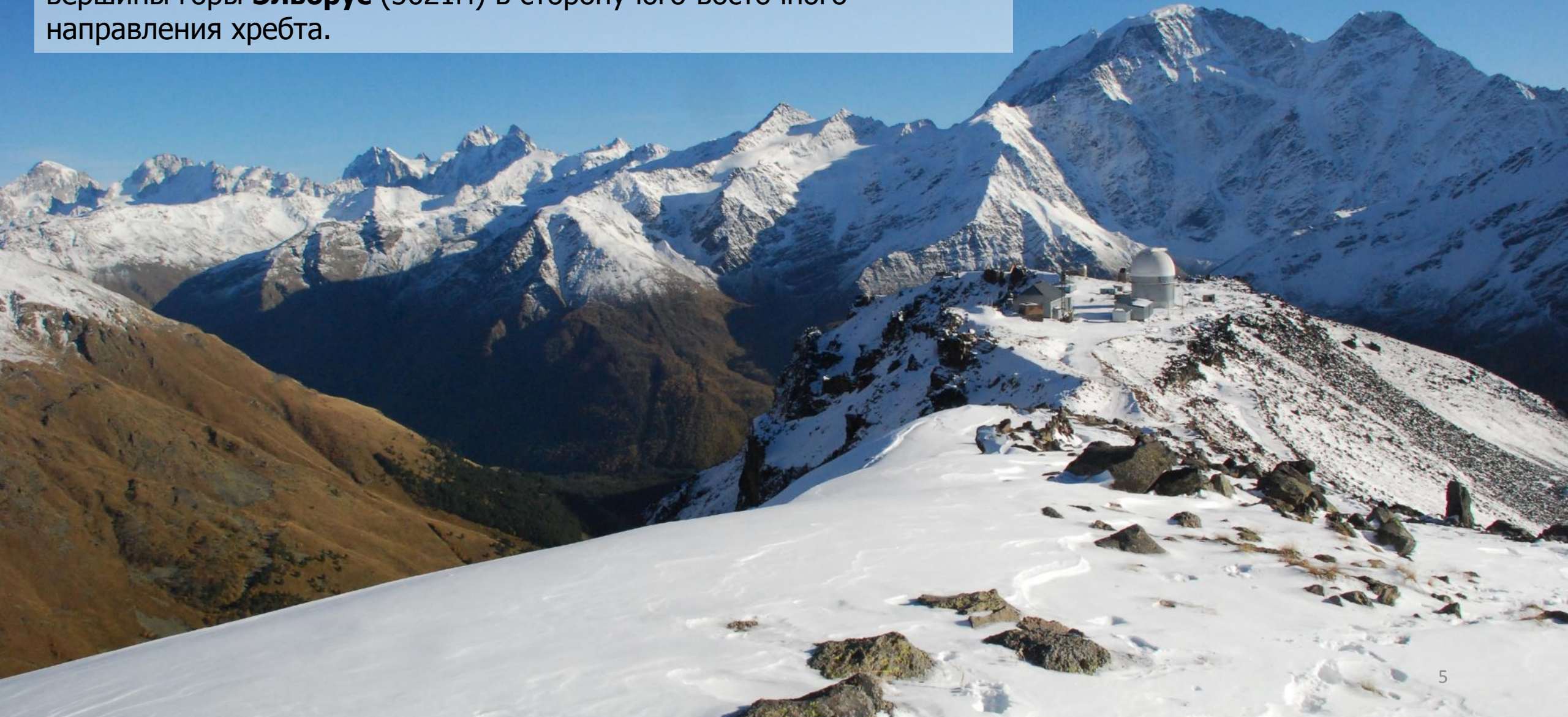
- географического положения;
- высоты над уровнем моря;
- времени суток;
- сезона года.

Использование различных моделей (аналитических, численных, экспериментальных) приводит к ошибочным выводам астроклимата конкретной локации и проектировании систем АО



## Астрономические пункты наблюдений

Обсерватория находится на высоте 3127м н.у.м. в 8 км от восточной вершины горы **Эльбрус** (5621м) в сторону юго-восточного направления хребта.



## Астрономические пункты наблюдений

Плато у села Ташанта (республика Алтай)

Высота ~2100 м.

Высокогорное плато, ровная подстилающая поверхность.



## Средства измерений



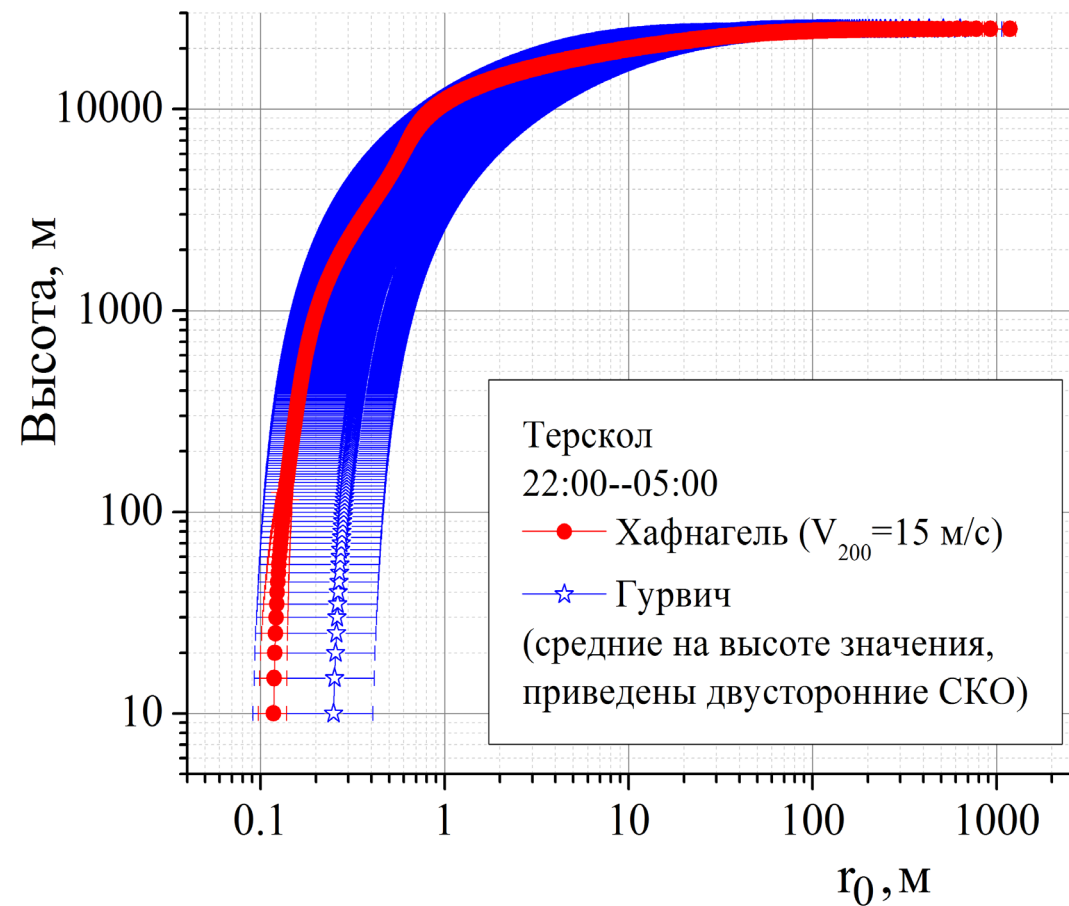
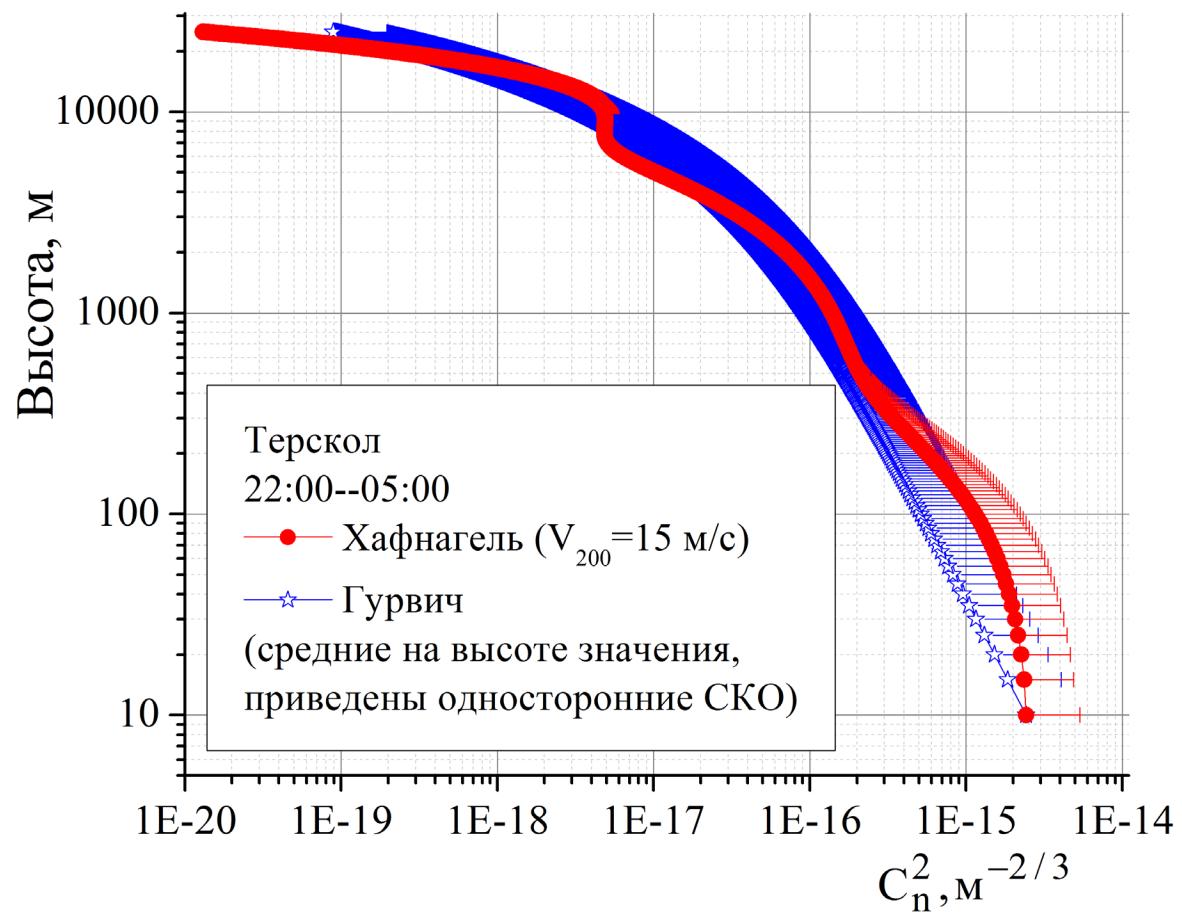
Терскол

**УЗМК «МЕТЕО-2»  
(ИОА СО РАН)**

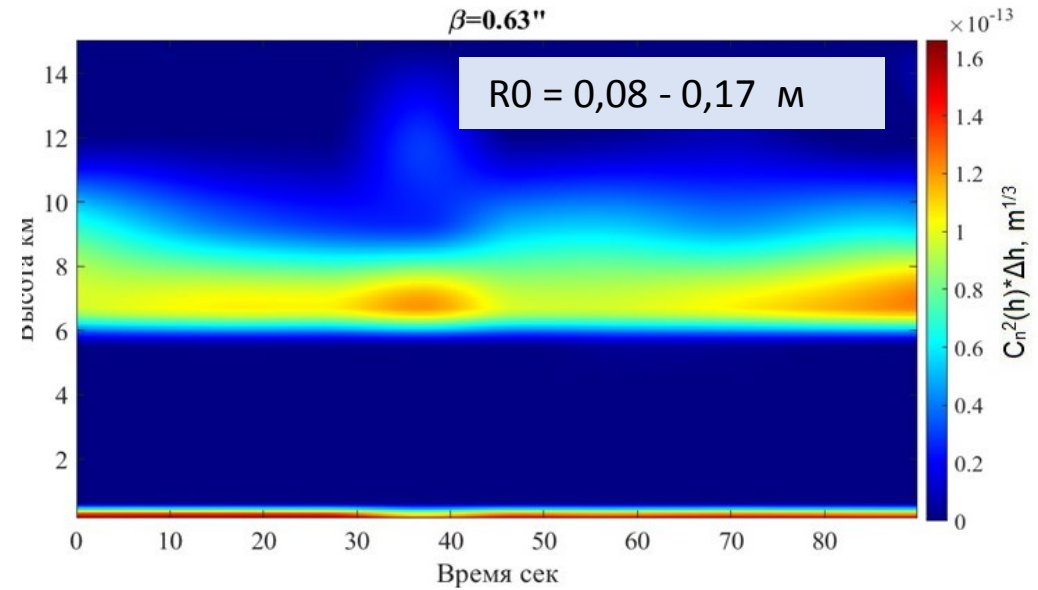
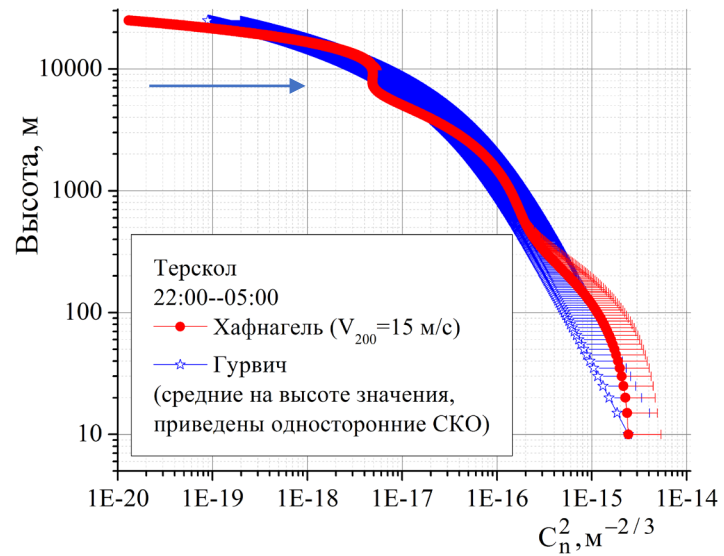


Ташанта

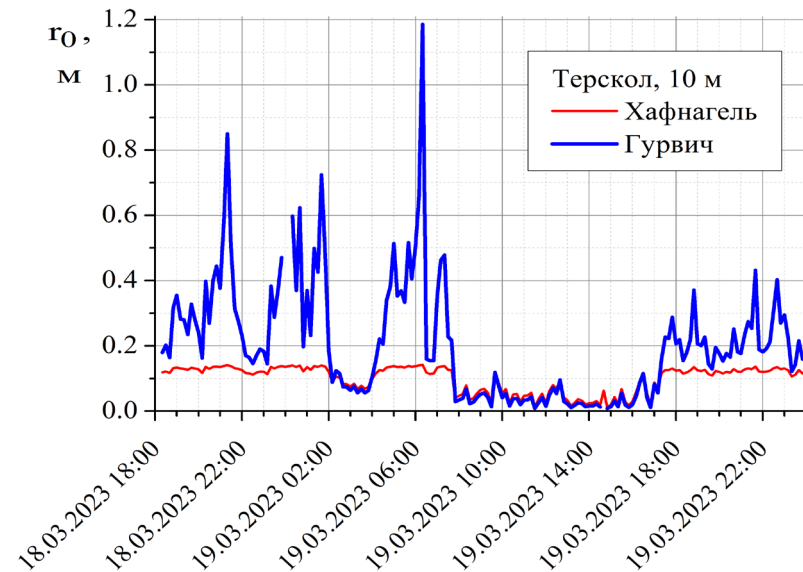
Сравнения профилей  $C_n^2(h)$  и  $r_0$   
по Гурвичу и по Хафнагелю ( март 2023г)



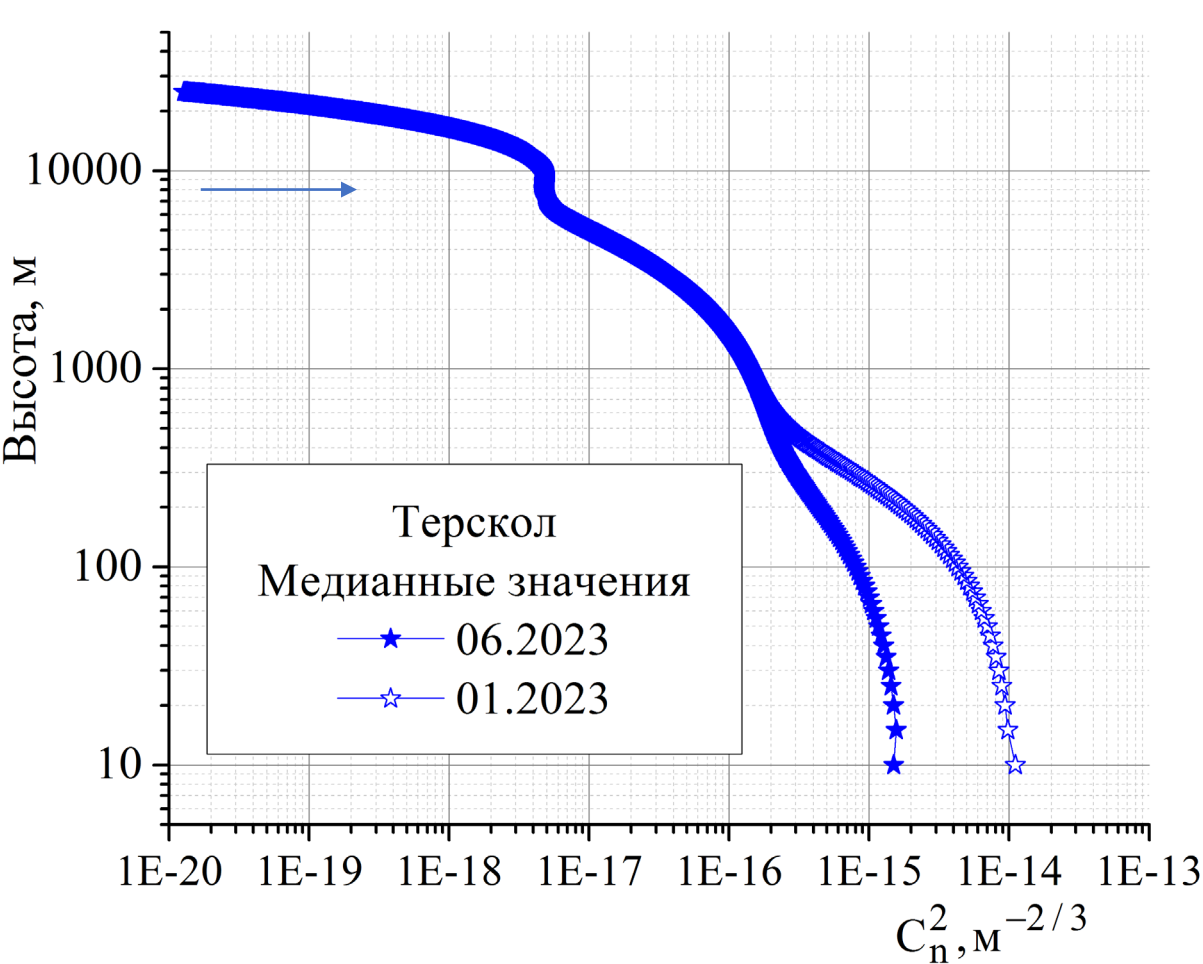
# Сравнения отдельных профилей $C_n^2(h)$ и $r_0$ по Гурвичу и по Хафнагелю (март 2023г)



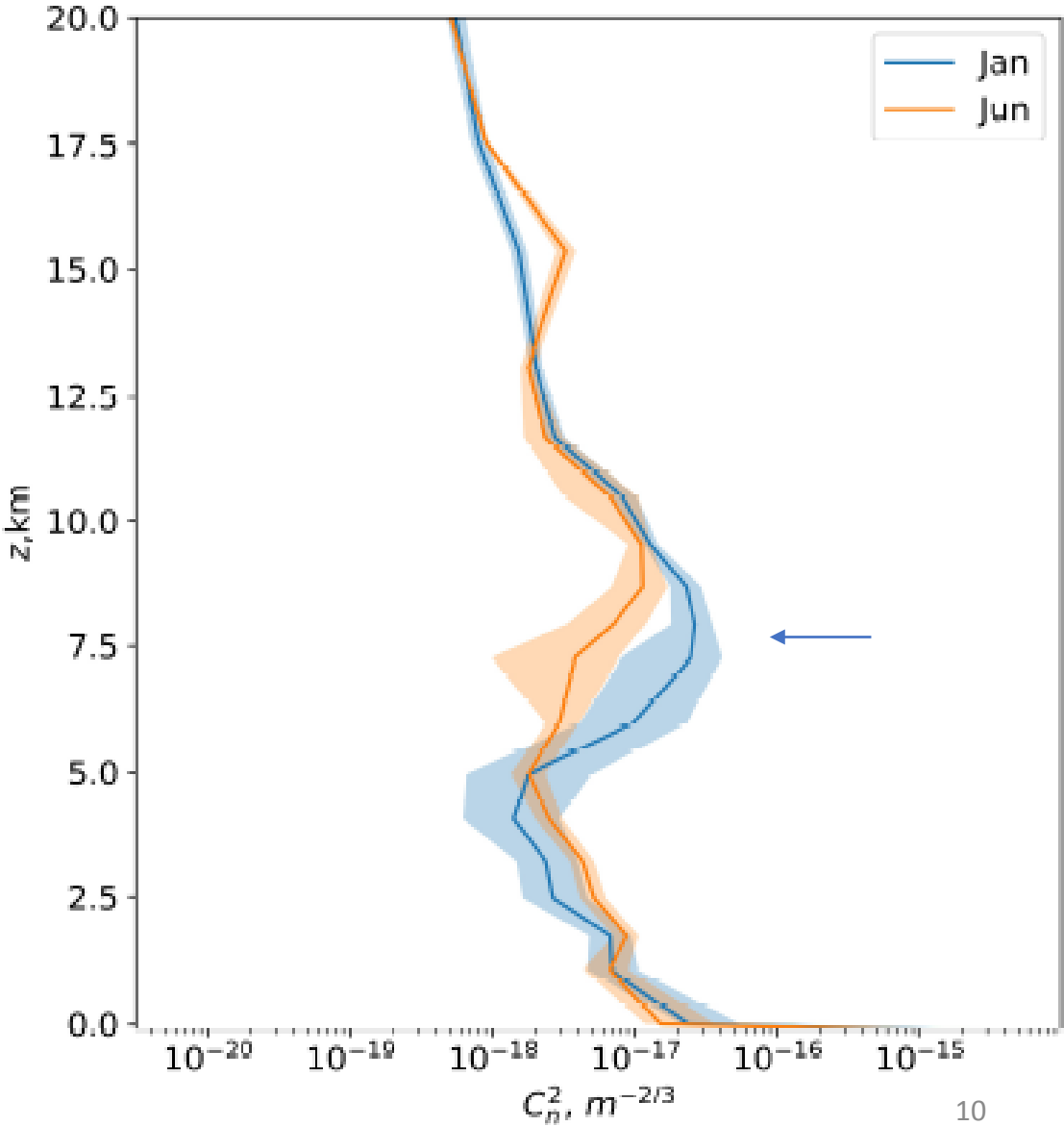
DIMM

Сравнение средних значений  $r_0$

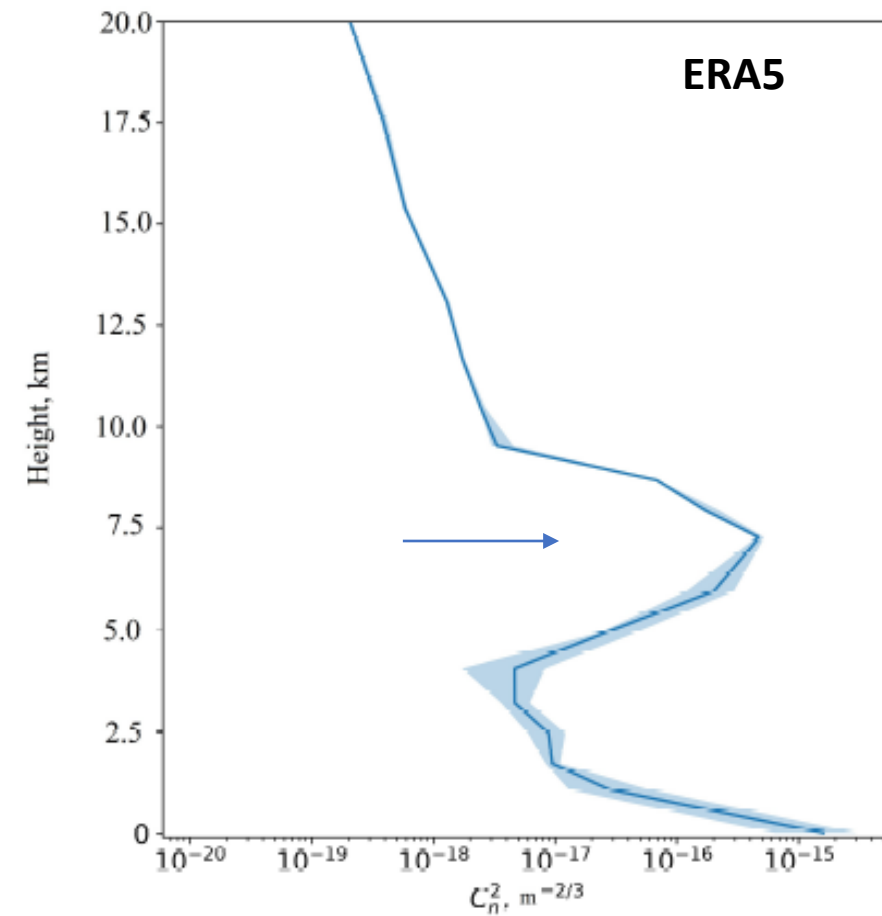
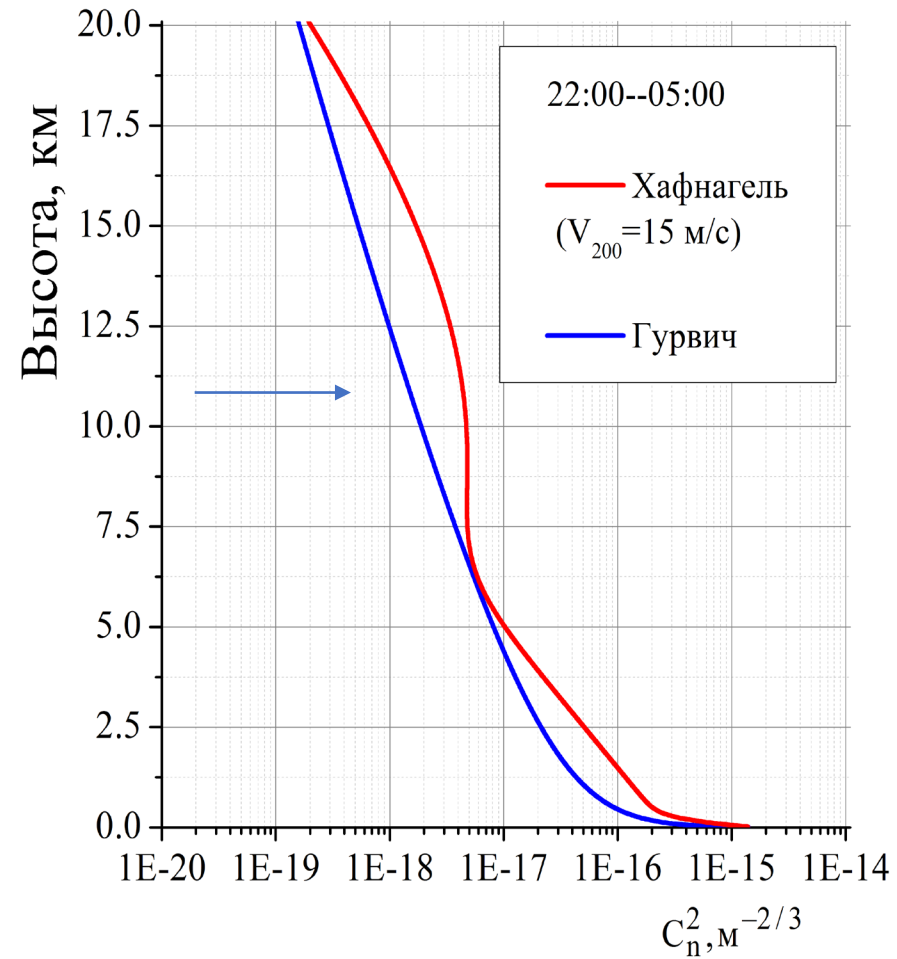
Сравнения профилей  $C_n^2(h)$   
по Хафнагелю с ERA5 (январь и июнь 2023г, ночная выборка)



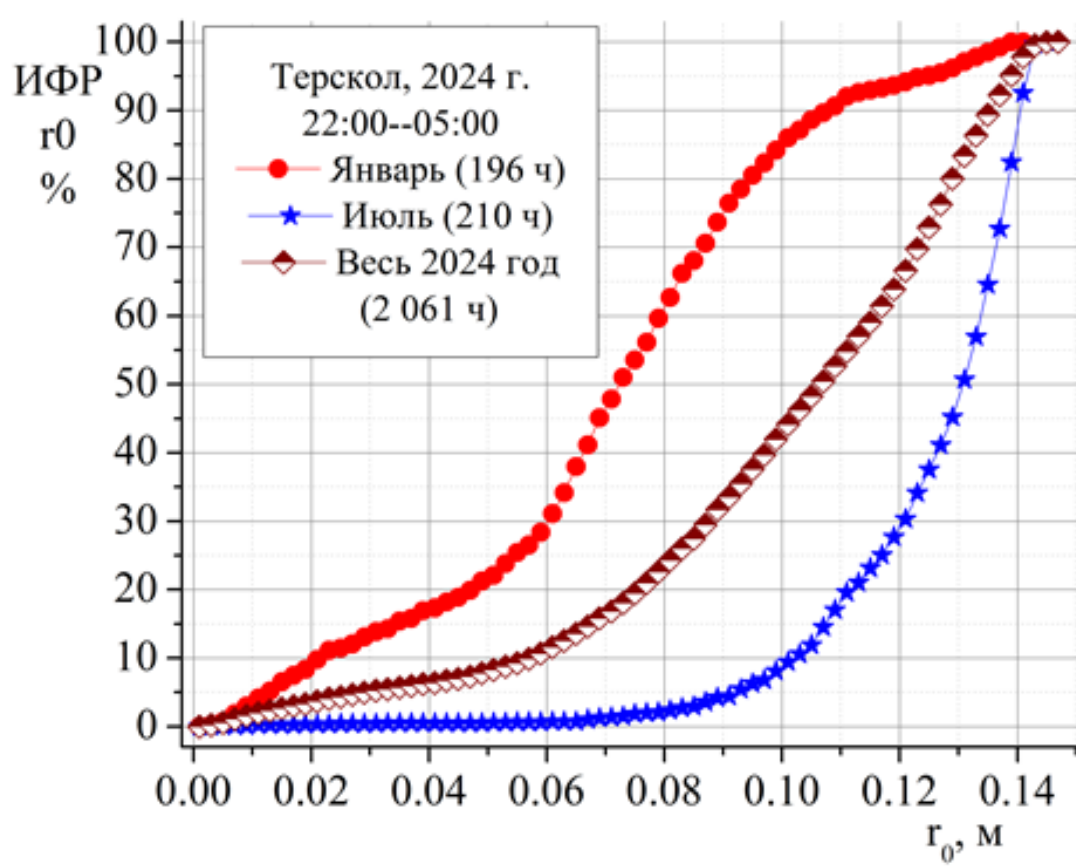
Начальная высота измерений 3127 метров,  
ступень на 7,5 км (ERA5) соответствует 11 км по H-V



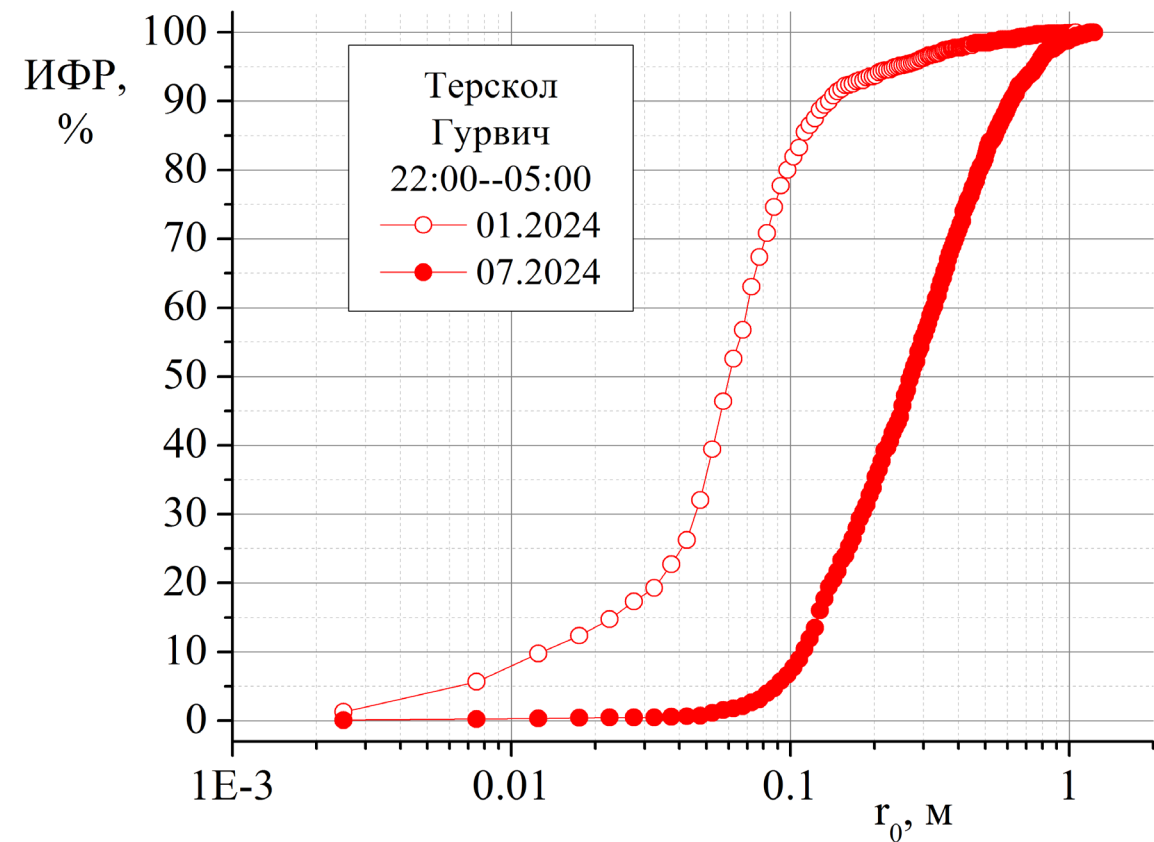
Сравнения профилей  $C_n^2(h)$   
по Гурвичу и по Хафнагелю с ERA5 (март 2023г)



Начальная высота измерений составляет в данном пункте 3127 метров, поэтому всплески на 7,5 км (ERA5) советуют 11 км по Н-В

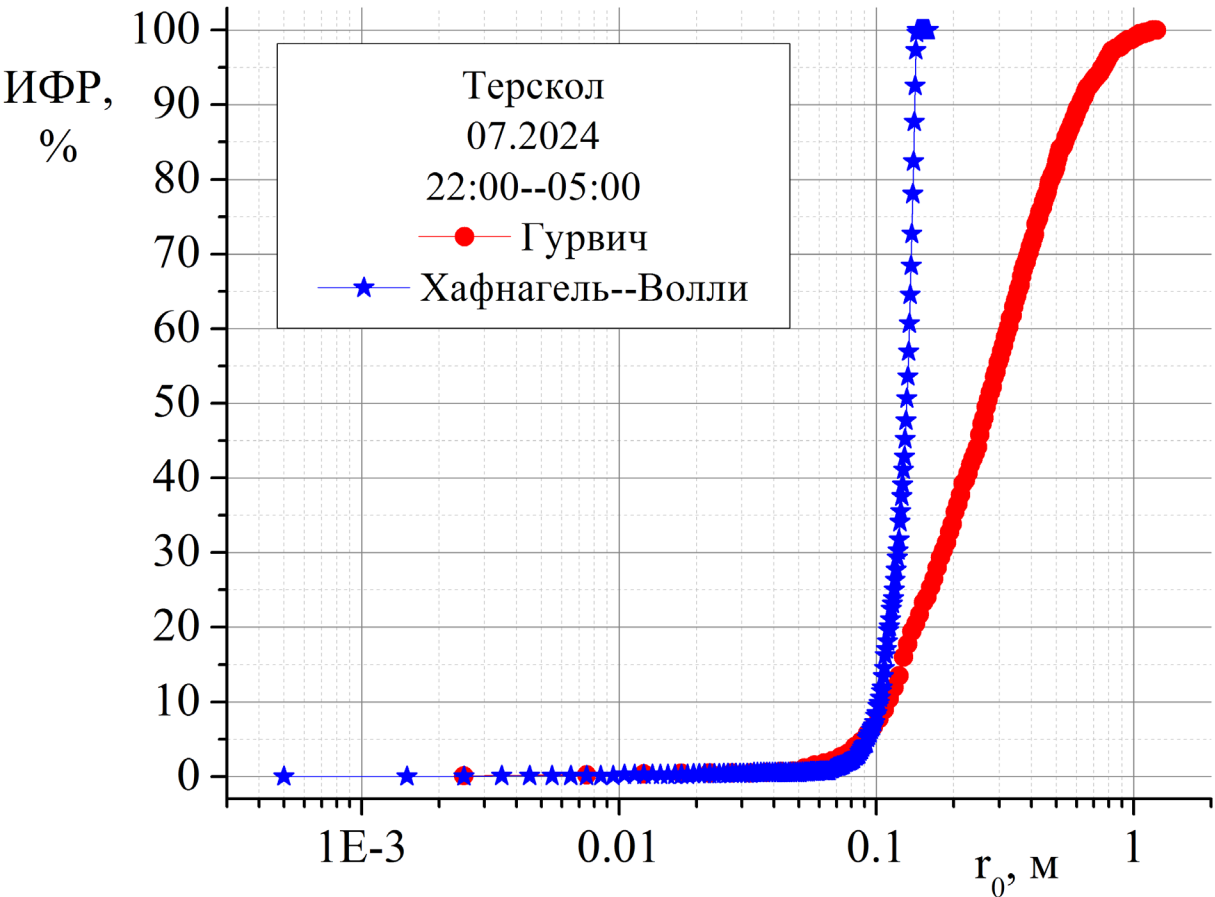
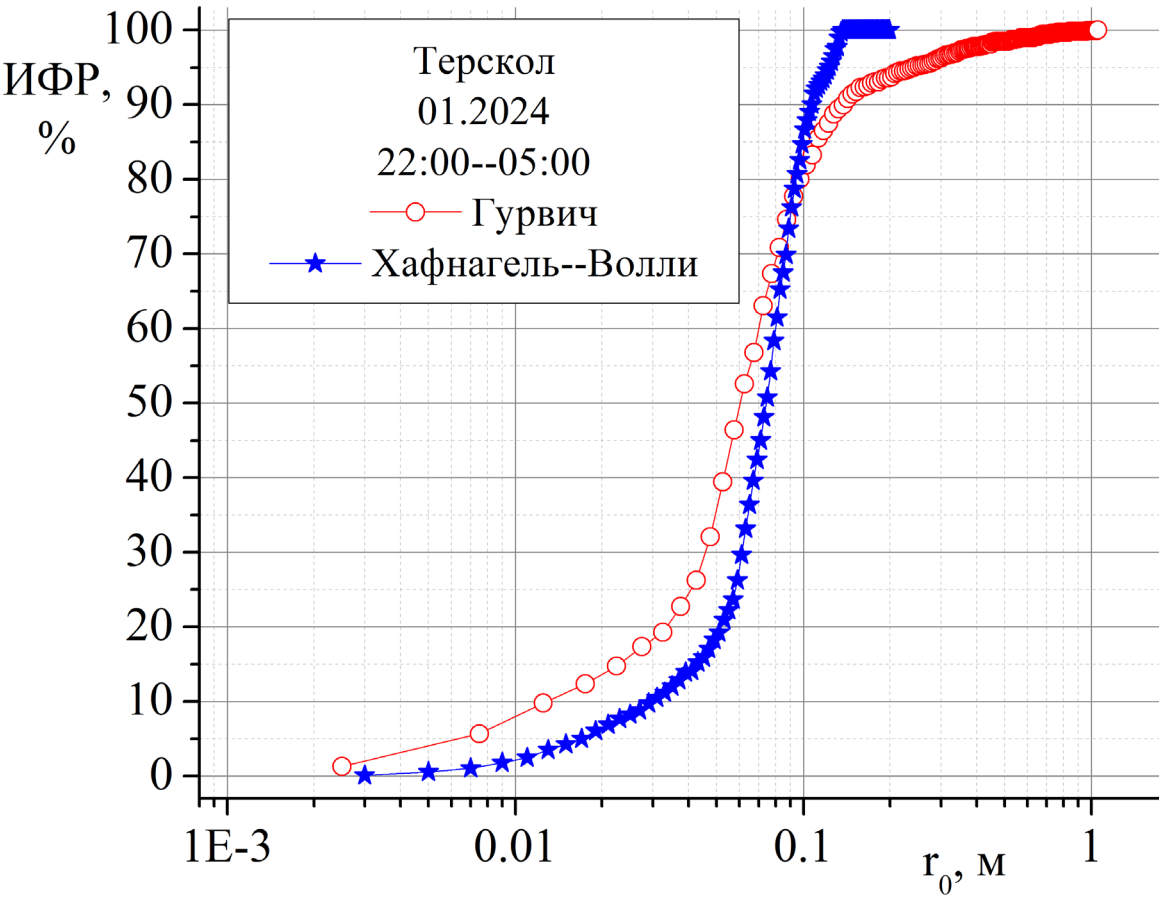
Интегральная функция распределения  $r_0$  (ИФР) (2024 г.)

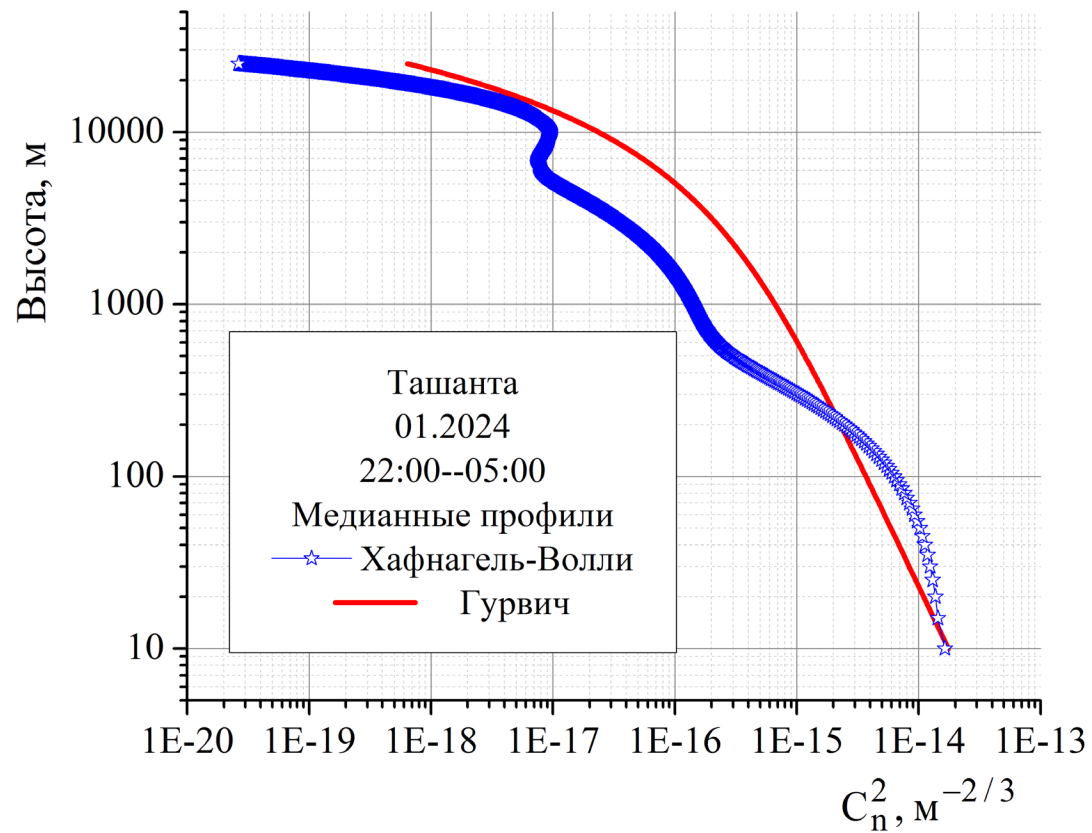
ИФР  $r_0$ , рассчитанные по модели Хафнагеля–Волли.



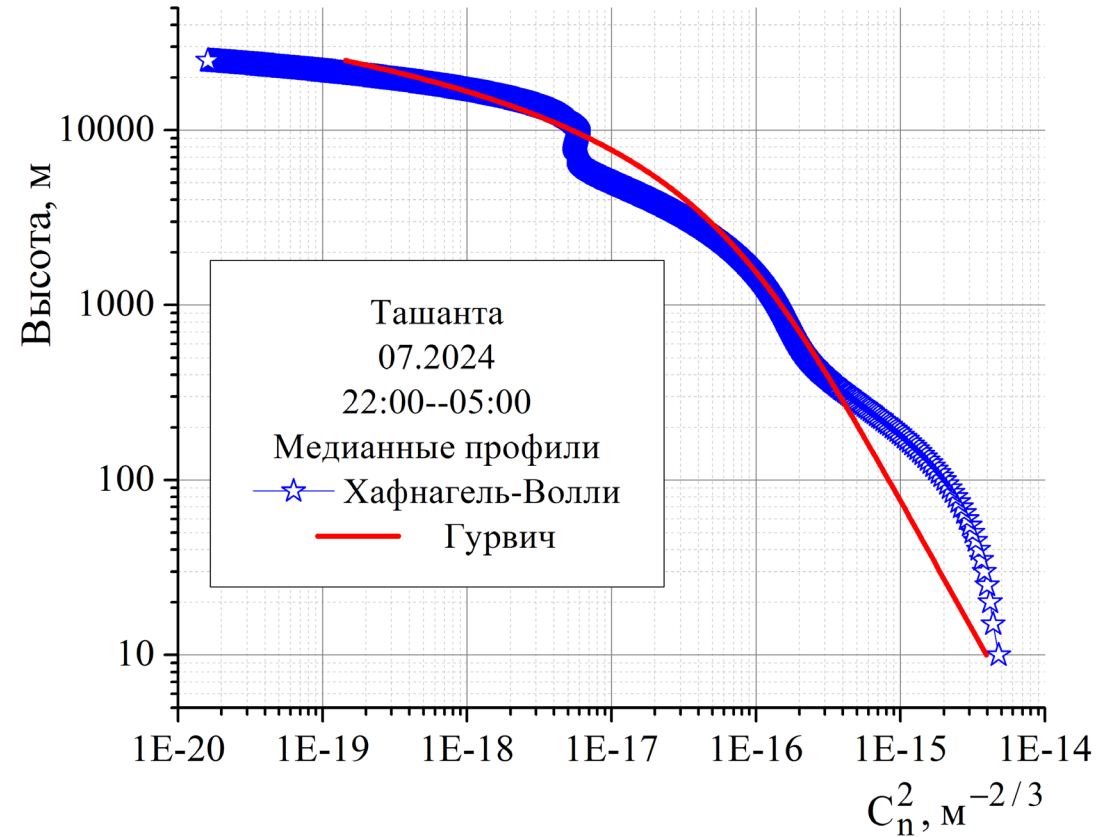
ИФР  $r_0$ , рассчитанные по модели Гурвича

Интегральная функция распределения  $r_0$  (ИФР) по Хафнагелю и по Гурвичу (2024 г.)



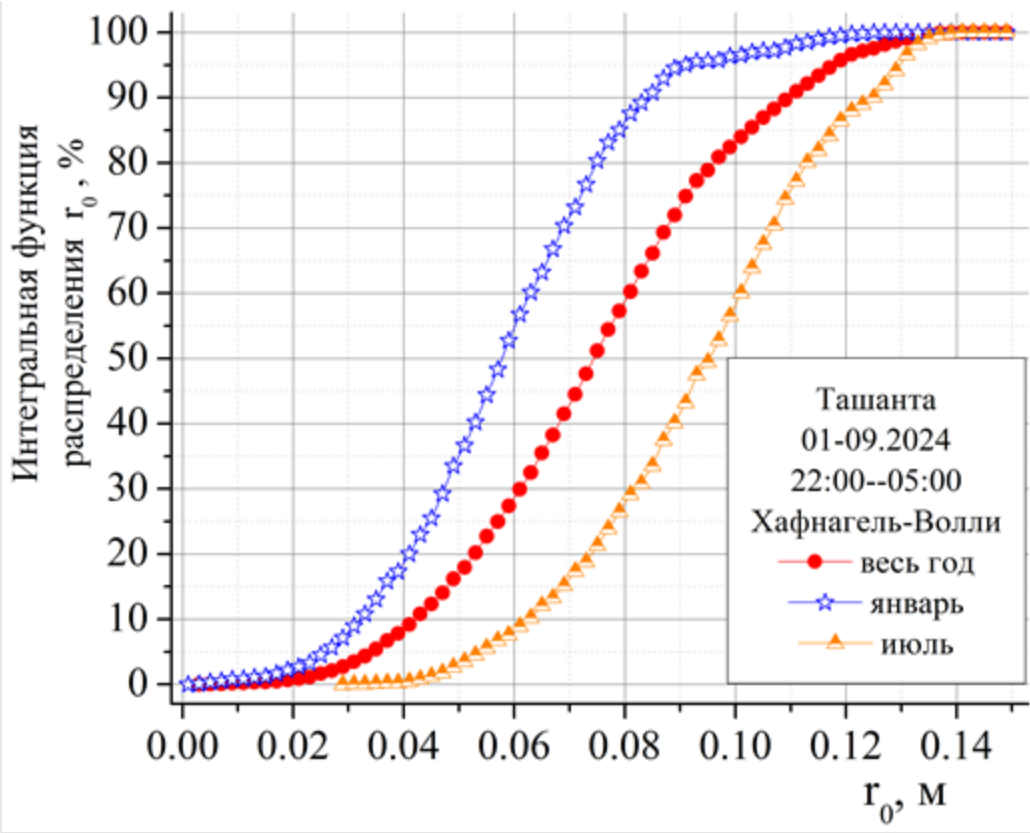
Сравнения отдельных профилей  $C_n^2(h)$   
по Гурвичу и по Хафнагелю (2024г)

Январь

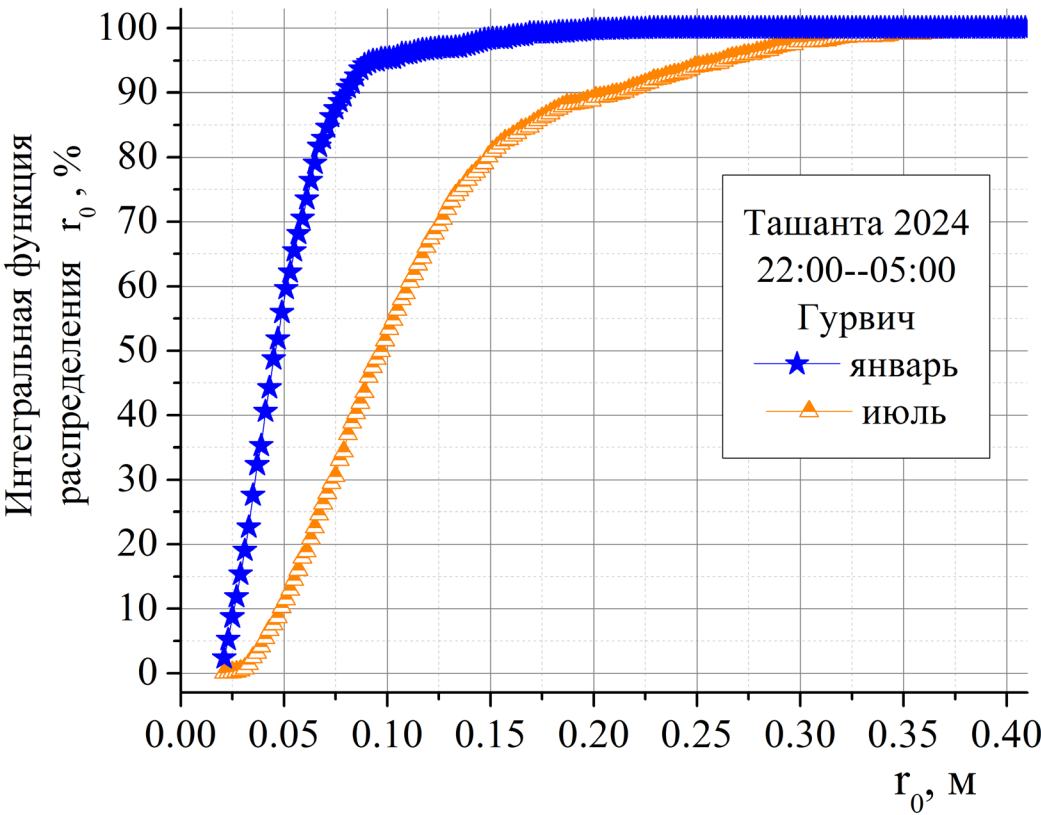


Июль

Интегральная функция распределения  $r_0$  (ИФР) (2024 г.)



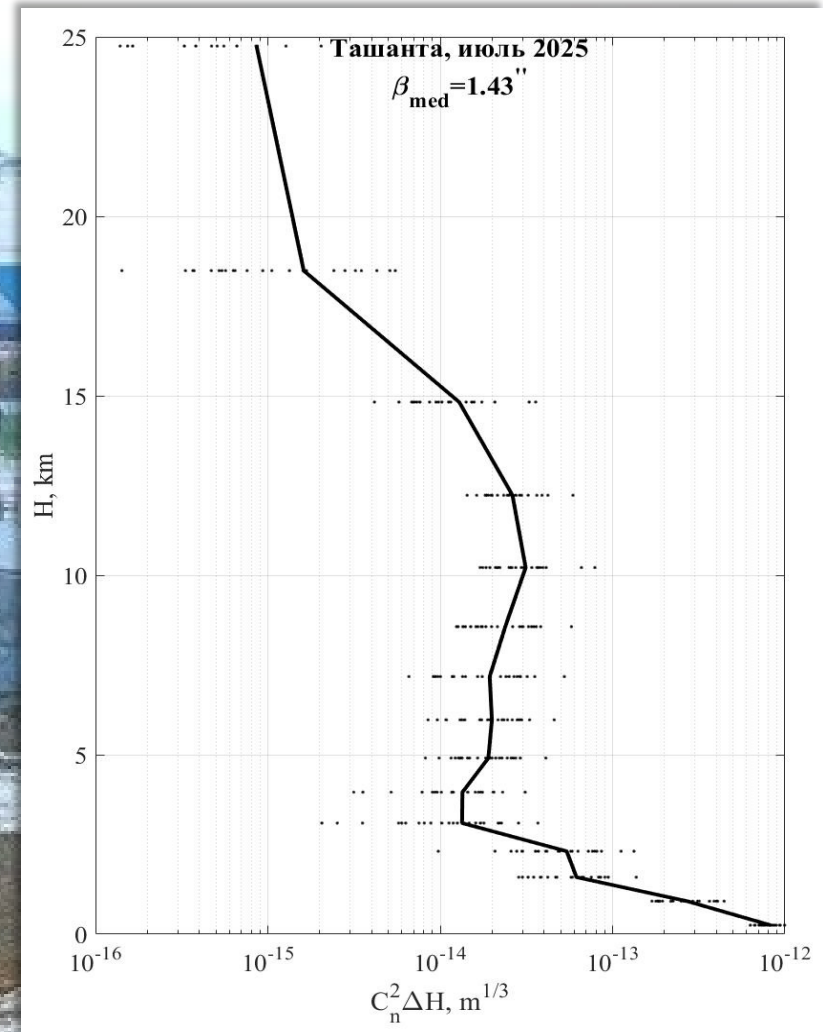
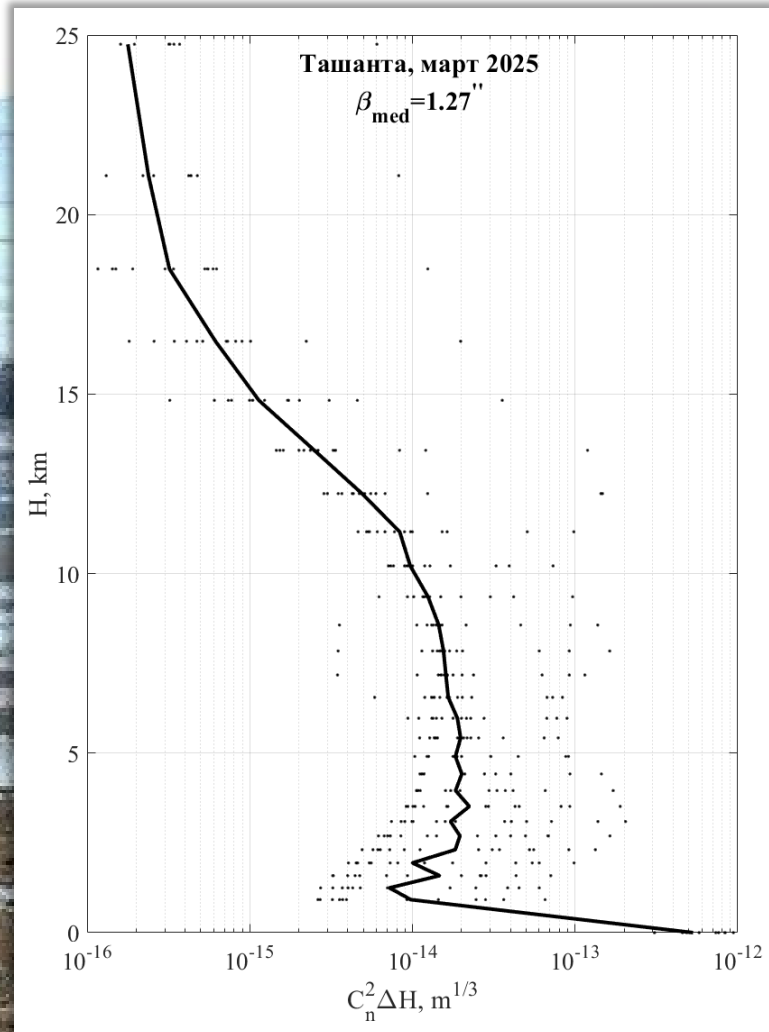
ИФР  $r_0$ , рассчитанные по модели Хафнагеля–Волли.

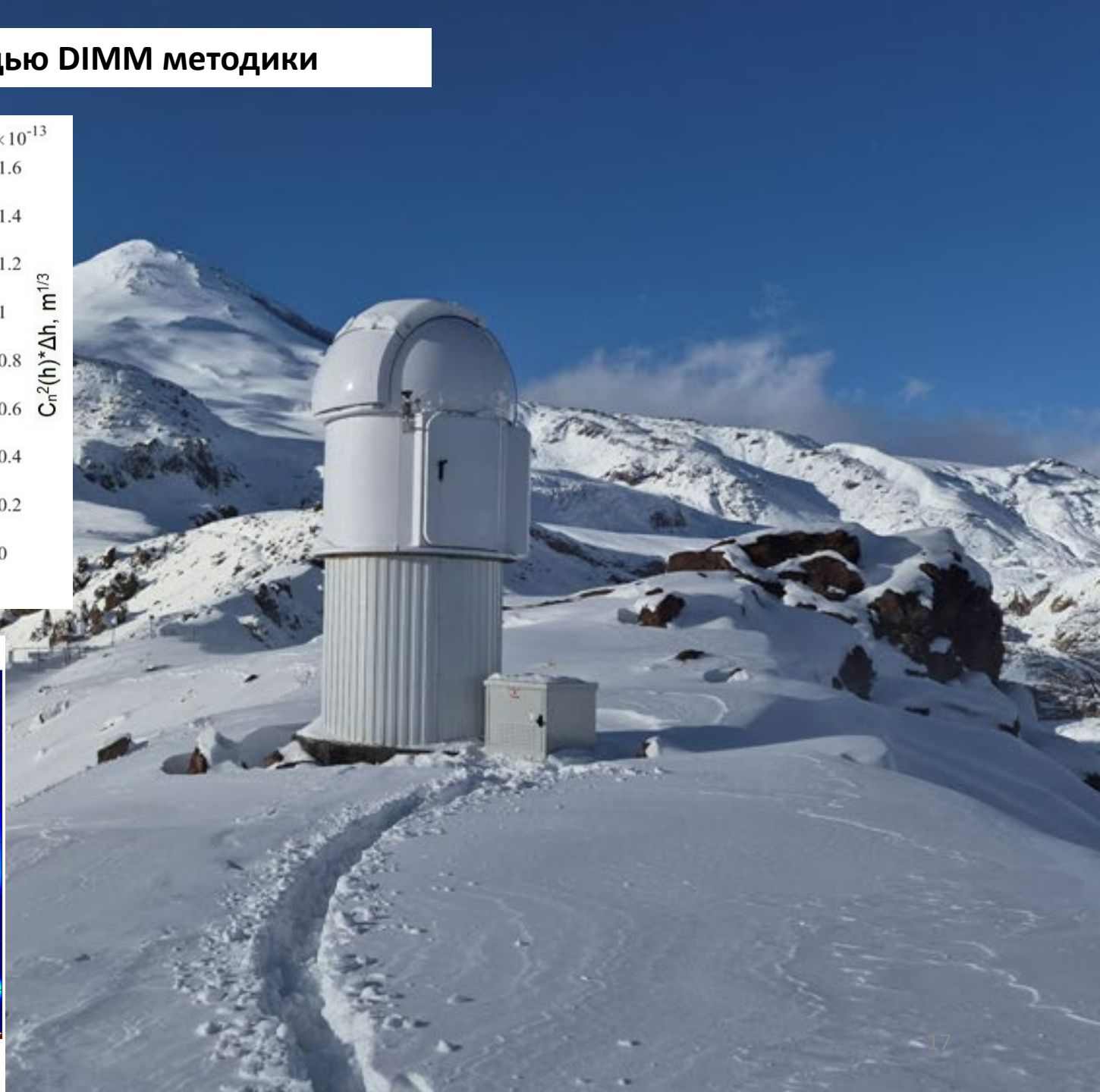
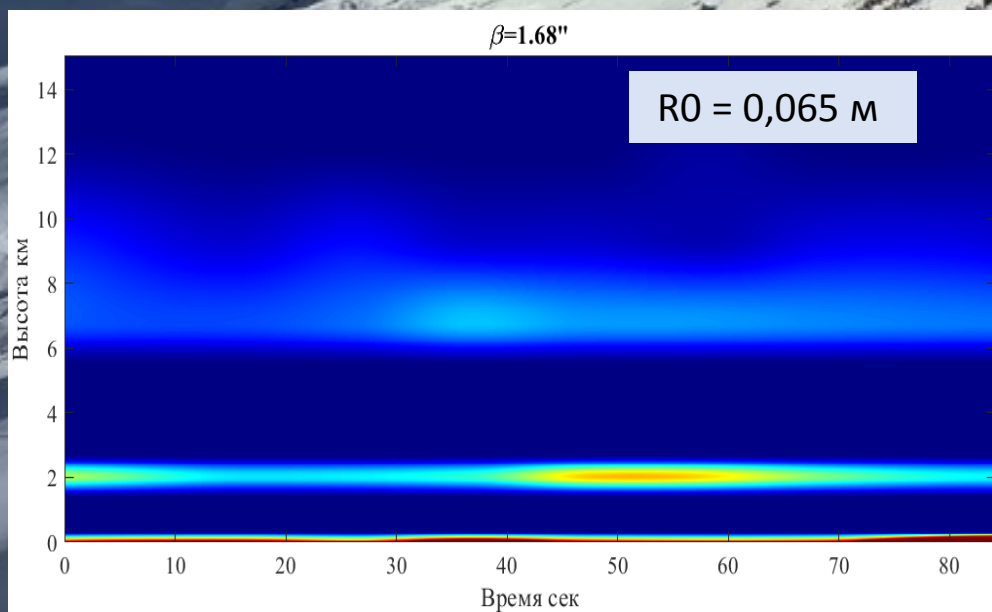
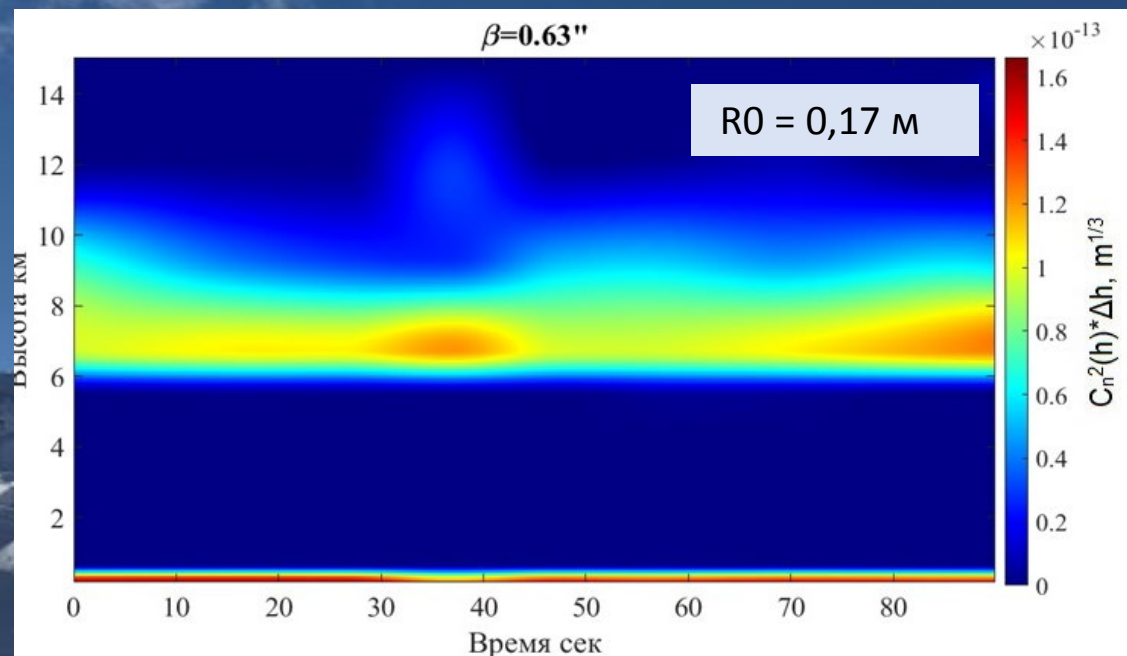


ИФР  $r_0$ , рассчитанные по модели Гурвича

$R_0 = 0,086 \text{ м}$  $R_0 = 0,076 \text{ м}$ 

Асстроклиматический пост  
в с.Ташанта





## Сравнение медианных значения $r_0$ для разных профилей $C_n^2(h)$

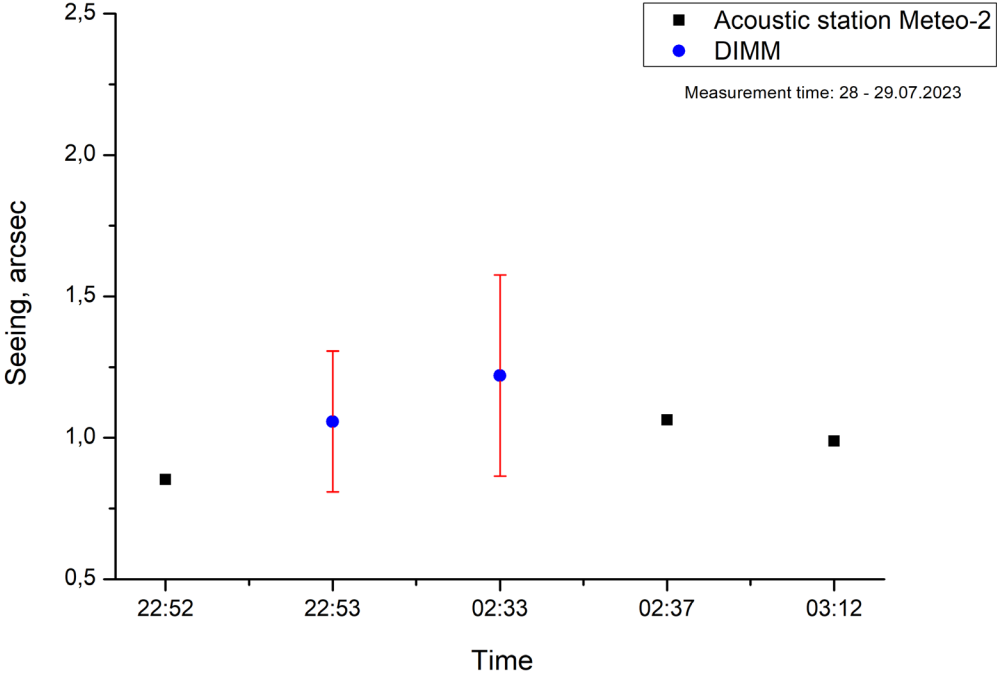
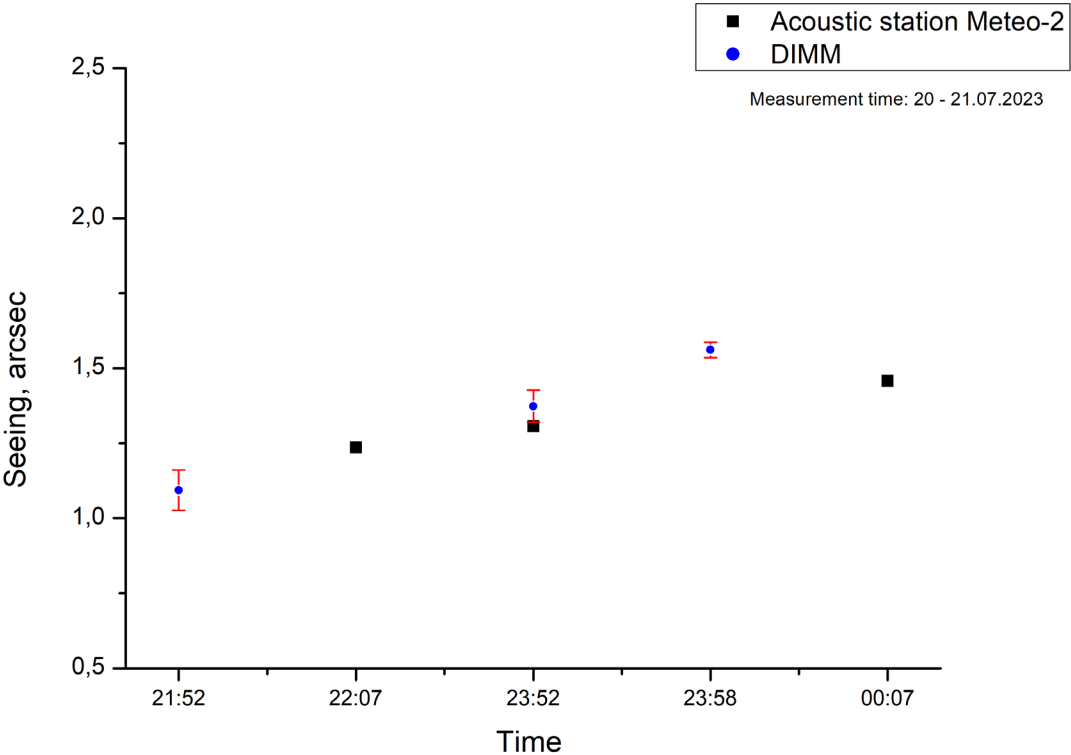
Ташанта (равнинная география)

| Месяц  | Модель Н-V | Модель Гурвича | DIMM                        |
|--------|------------|----------------|-----------------------------|
| Январь | 8,2 см     | 7 см           | - (8,6см март и 6,7 ноябрь) |
| Июль   | 11 см      | 20 см          | 7,6 см                      |

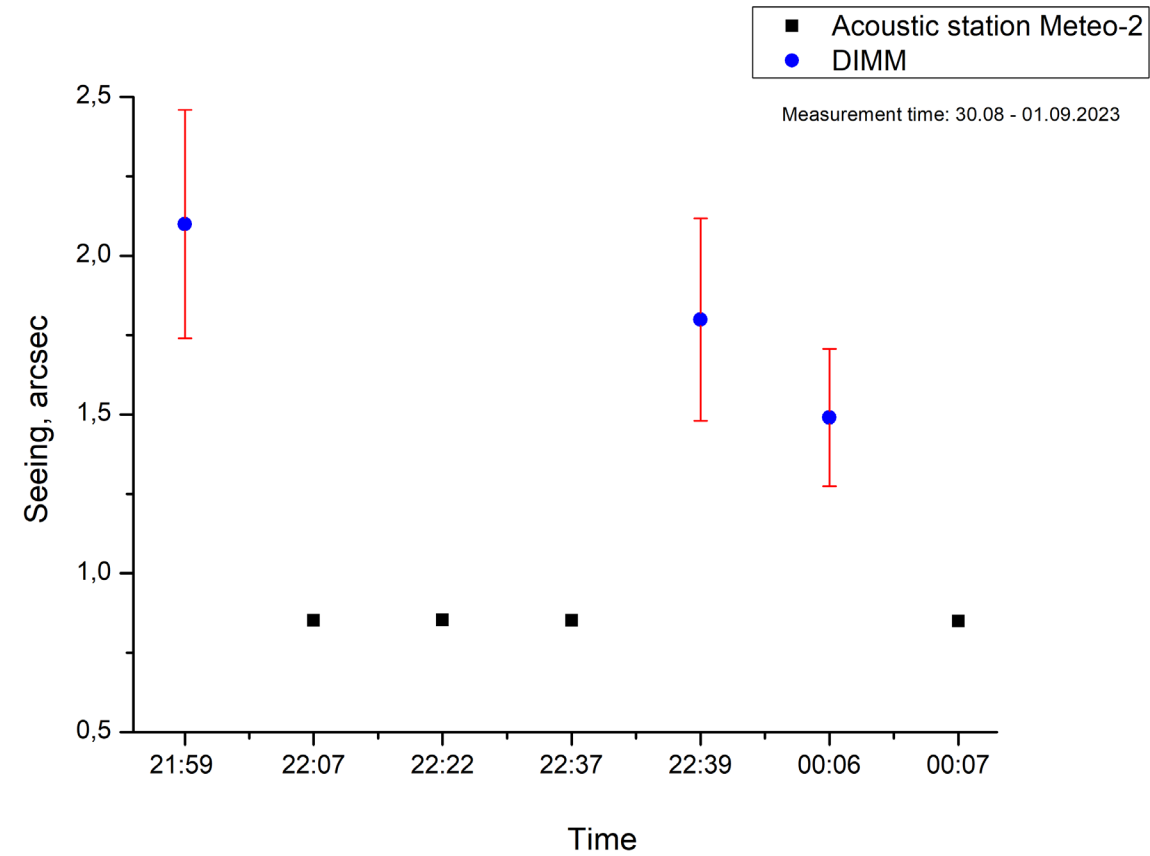
Терскол (горная география)

| Месяц  | Модель Н-V | Модель Гурвича | DIMM            |
|--------|------------|----------------|-----------------|
| Январь | 10,8 см    | 10,5 см        | 11,7 см         |
| Июль   | 11 см      | 16 см          | - (10 см (AOC)) |

# Сравнение значения размеров атмосферных изображений для полученные в акустике (H-V) с помощью DIMM



## Сравнение значения размеров атмосферных изображений для полученные в акустике (H-V) с помощью DIMM



## Заключение

Модель Н-V наиболее корректно описывает высотный профиль турбулентности как для горной так и равнинной географии (V200, стратификация?).

Обе модели (Н-V и Гурвича) дают сопоставимые оценки интегрального уровня турбулентности в зимнее время как для горной , так и равнинной географии.

Модель Гурвича завышает оценки в летнее время (оптическая толща?)

Экспериментальные оценки  $r_0$  по DIMM необходимы для того, что бы модифицировать модель для конкретной локации

Для обоснованного проектирования систем адаптивной оптики необходима разработка локальной модели профиля  $C_n^2$ , а не только усреднённые модели.

**Спасибо за внимание!**