

**Предварительные результаты  
измерений астроклиматических  
параметров в месте установки 2.5 м  
телескопа ГАИШ**

**В.Корнилов, Н.Шатский, С.Потанин,  
О.Возякова, Б.Сафонов**

**Москва, 2008**

# Мы благодарим за помощь и содействие

- А.Белинского
- М.Корнилова
- А.Токовинина
- М.Кузнецова
- П.Кортунова
- Е.Горбовского
- дирекцию ГАИШ
- отдельных студентов 4 к
- сотрудников ГАС
- РФФИ
- фирму MAVEG

# Цели исследований оптической турбулентности и других, связанных с нею характеристик места установки

- Основная цель – получение статистически значимых данных о «качестве изображения» и высотном распределении атмосферной оптической турбулентности в месте установки 2.5 м телескопа ГАИШ
- Дополнительная цель – получение объективной информации о количестве и качестве ясного ночного времени, измерение метео-характеристик непосредственно на вершине

Эти исследования частично перекрываются с проектом РФФИ 06-02-16902-а «Изучение высотных распределений атмосферной оптической турбулентности для оценки перспективы использования адаптивных оптических систем»

# Распространение плоской световой волны через турбулентную атмосферу

1. Флюктуации показателя преломления (оптическая турбулентность) вызывают **фазовые** искажения световой волны
2. По мере распространения световой волны, фазовые искажения продуцируют **амплитудные** искажения
3. На масштабах, интересных для оптической астрономии, 1 см – 10 м, эти флюктуации описываются Колмогоровской моделью
4. Мощность турбулентности на данной высоте описывается структурным коэффициентом показателя преломления  $C_n^2(h)$
5. Основным параметром, характеризующим влияние турбулентной атмосферы в целом, **радиус Фрида**:

$$r_0 \sim \left[ \int C_n^2(h) \cdot dh \right]^{-3/5}$$

и связанный с ним параметр – **качество изображения** (seeing)

$$\beta = 0.98 \frac{\lambda}{r_0}$$

# Что дают измерения оптической турбулентности

- Качество изображения определяет **эффективность** работы телескопа в данном месте в классическом режиме
- Радиус Фрида – основа расчетов **адаптивных оптических систем** (АО), но его одного – недостаточно
- Тип и параметры оптимальной АО определяются данными о распределении турбулентности по высоте
- Распределение турбулентности по высоте определяет **точность** фотометрических и астрометрических измерений
- Знание этих величин в статистическом смысле служит основой для выработки **стратегии** использования телескопа
- Получение этих данных в реальном времени используется для **оперативного планирования** наблюдений
- Развитие понимания феномена турбулентной атмосферы, необходимого для целенаправленного **поиска мест** для будущих крупных и сверхкрупных оптических телескопов

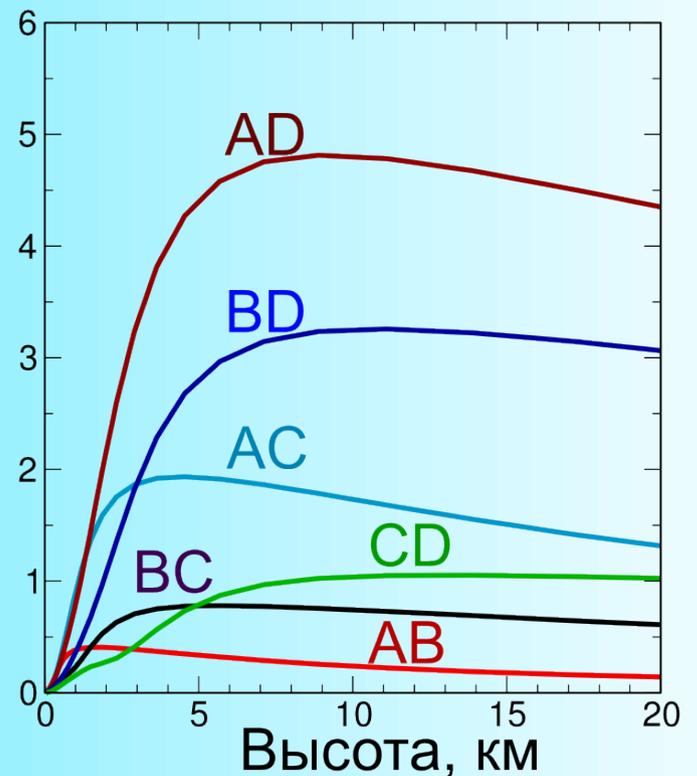
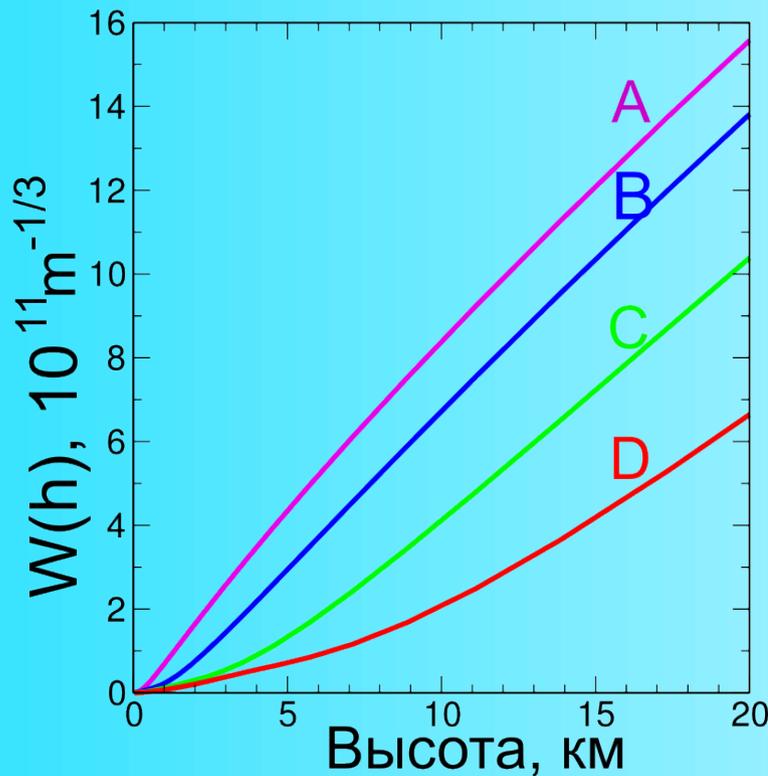
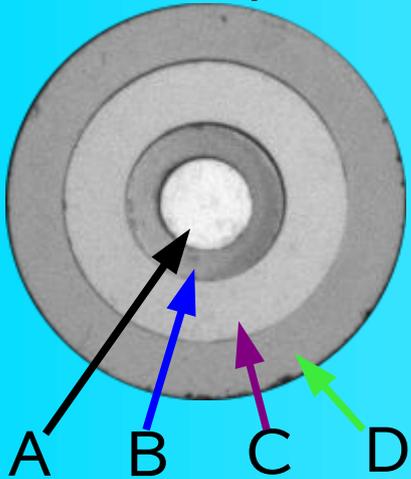
# MASS – многоапертурный датчик звездных мерцаний

Измеряемые **индексы мерцаний**  
 нормальный  
 дифференциальный

теоретический  
 индекс мерцаний

где  $W(h)$  теоретически вычисляемая **весовая функция**

Для нашей геометрии

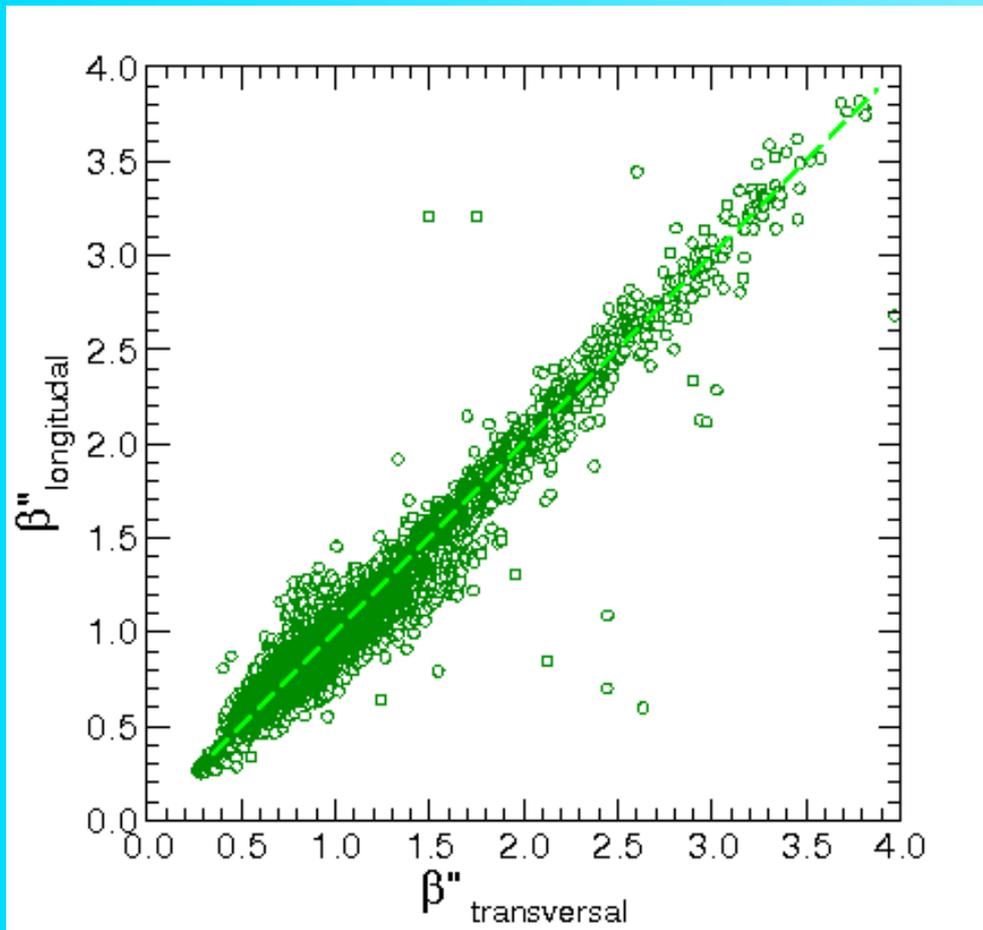


$$s^2 = \langle (\Delta \ln I)^2 \rangle$$

$$s_d^2 = \langle (\Delta \ln (\frac{I_1}{I_2}))^2 \rangle$$

$$s^2 = \int C_n^2(h) \cdot W(h) dh$$

# DIMM – монитор дифференциальных дрожаний изображений звезд



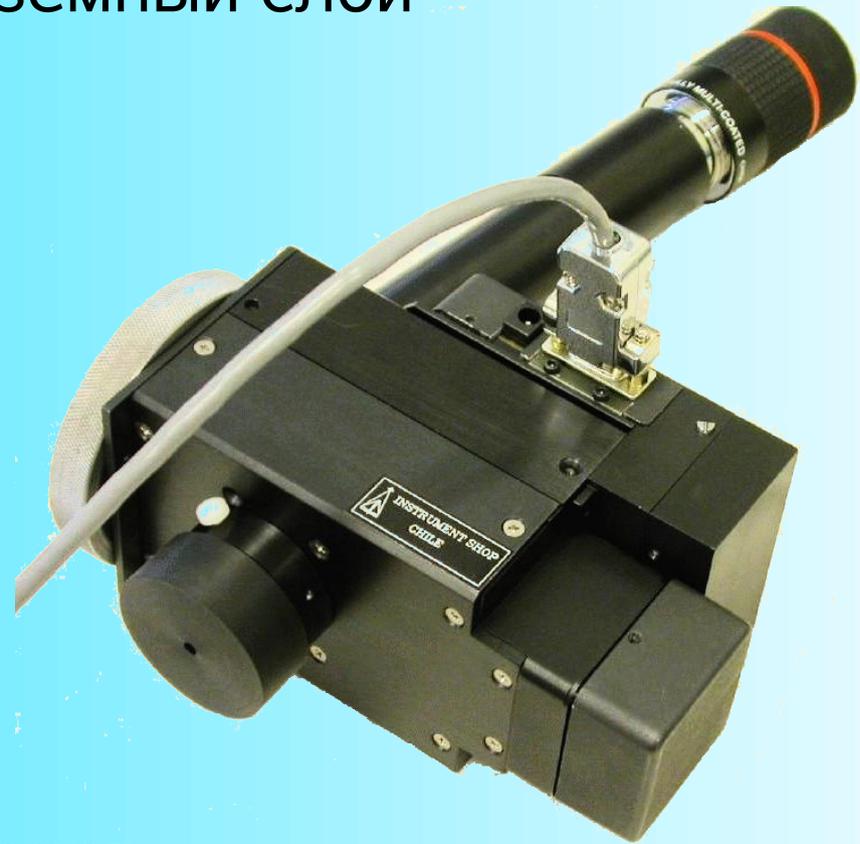
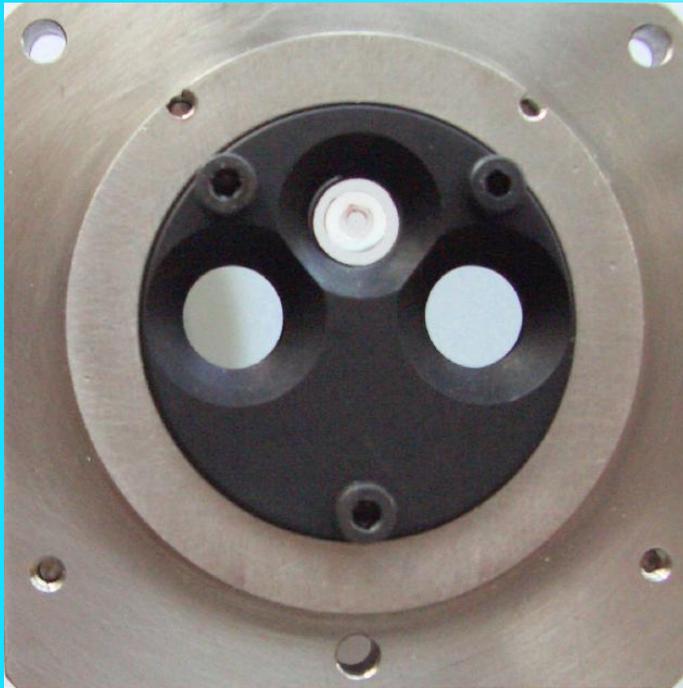
Основное соотношение, связывающее измеряемые дифференциальные дрожания в приборе DIMM с радиусом Фрида (и, следовательно, качеством изображения)

$$\sigma_{l,t}^2 = K_{l,t} (\lambda/D)^2 (D/r_0)^{5/3}$$

Индексы  $l$  и  $t$  относятся к продольным (вдоль линии, соединяющей входные апертуры прибора) и поперечным искажениям волнового фронта.

# Комбинированный прибор MASS/DIMM.

Позволяет исследовать турбулентность всей атмосферы,  
включая приземный слой



1. нужен только один питающий телескоп
2. исследуется турбулентность на том же самом луче зрения
3. измерения синхронизованы по времени

Это позволяет объединить данные двух методов для восстановления  
профиля турбулентности по высоте

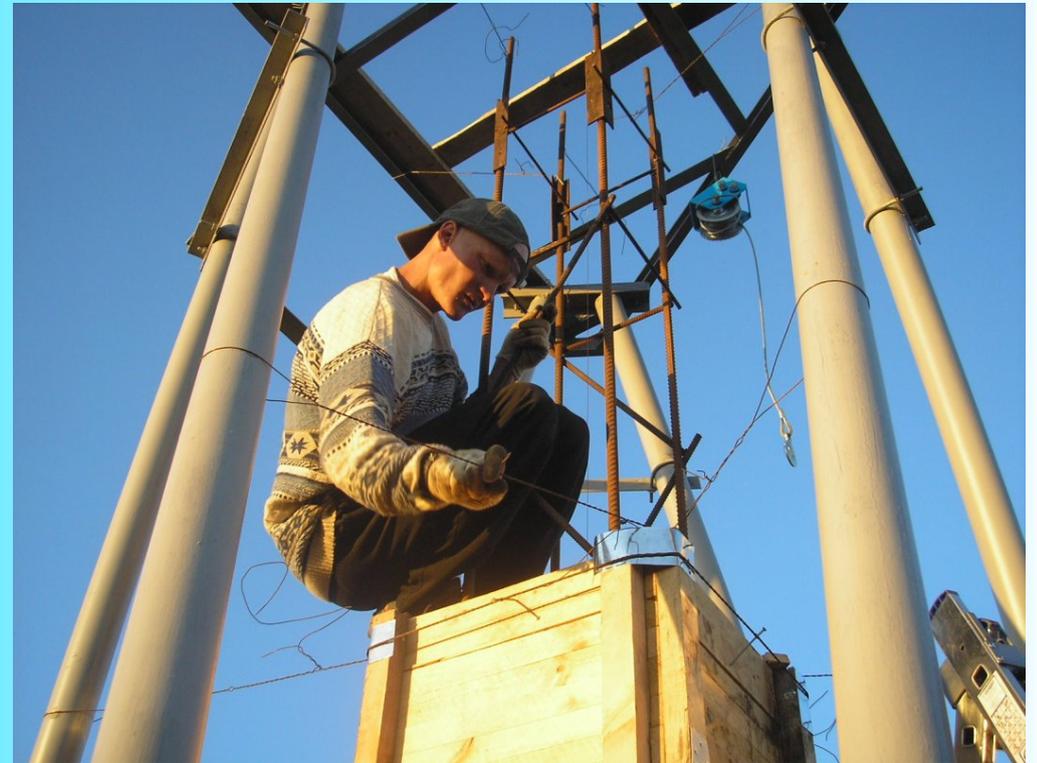
# Задачи исследования оптической турбулентности в месте установки 2.5 м телескопа

- Подготовка прибора MASS/DIMM, подготовка и тестирование программного обеспечения
- Разработка и изготовление автоматического монитора оптической турбулентности (ASM – automatic seeing monitor)
- Развертывание и наладка ASM, тестирование
- Проведение регулярных измерений в течение 2 – 3 лет
- Окончательная обработка и анализ полученных данных
- Выводы об особенностях атмосферной турбулентности в нашем месте, сравнение с другими обсерваториями и рекомендации по разработке навесной аппаратуры и системы АО.

# Требования к астроклиматическому монитору

- Располагаться на вершине не дальше **30 – 40 м** от места установки **2.5 м телескопа** вблизи южного обрыва
- Высота вышки около 5 м, чтобы обеспечить **положение телескопа с прибором на высоте 6 м** над уровнем почвы
- Колонна, несущая телескоп, должна быть отвязана от башни, чтобы минимизировать ветровые вибрации инструмента
- Укрытие (купол) должно иметь минимальную теплоемкость, при наблюдениях защищать телескоп от порывов ветра и в закрытом состоянии – от непогоды
- **Минимальное энергопотребление** аппаратуры АСМ, чтобы обеспечить автономную работу комплекса
- Надежная компьютерная **связь** для управления и получения данных
- Аппаратно-программная структура должна обеспечить **автоматическую работу** или работу с удаленным управлением
- В составе монитора должны быть основные **метеодатчики**

# Установка астроклиматического монитора на вершине ГАИШ

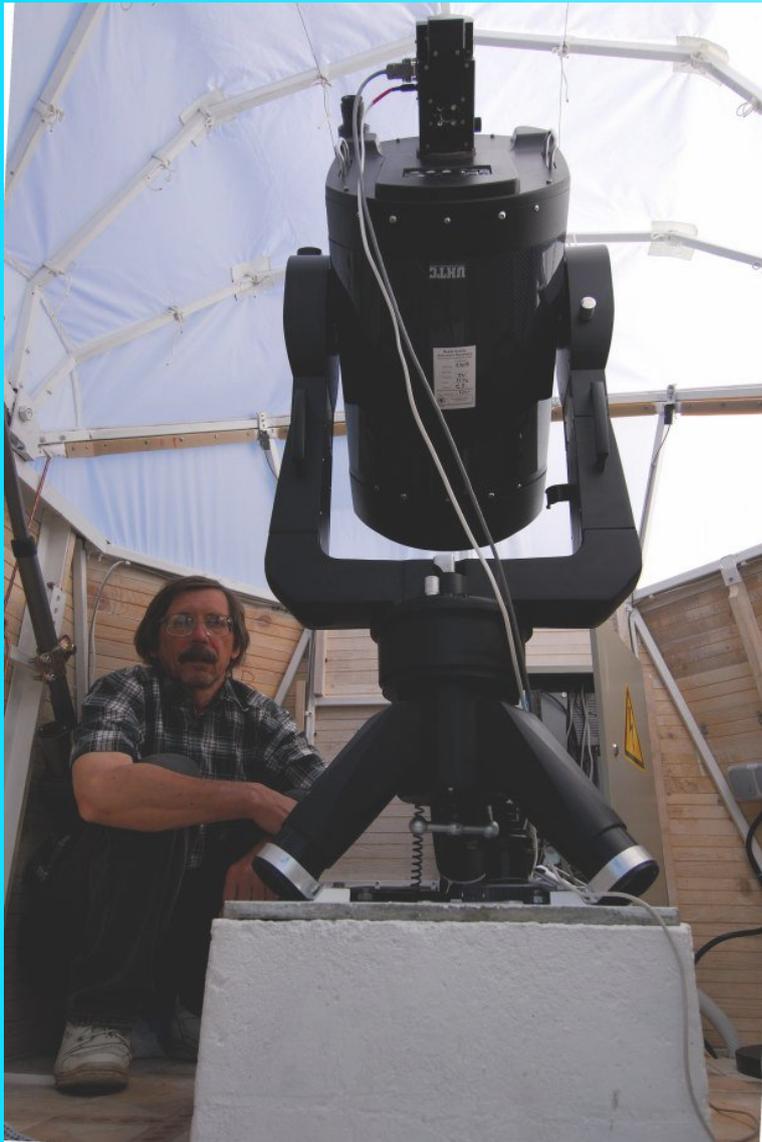


Вверху: Н.Шатский проверяет опалубку под бетонную колонну телескопа

Слева: Установка металлической вышки для купола при помощи ручной лебедки и С.Потанина

Почти все готово (впереди еще  
2 месяца работы)



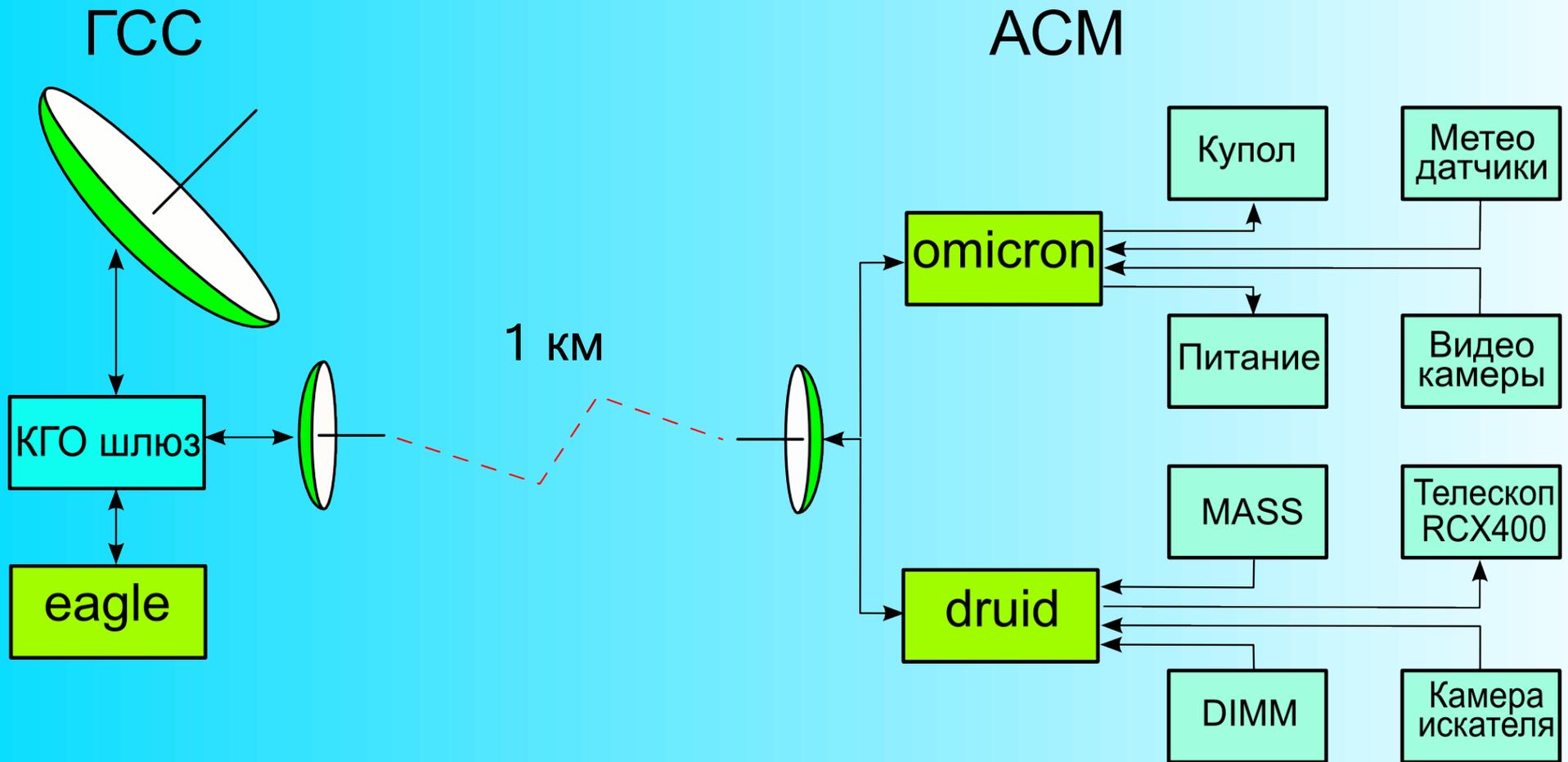


Под куполом 2.7 кв.м  
установлен телескоп  
RCX400 и прибор



Мозговой центр: в этом  
ящике 2 компьютера и  
связь с внешним миром

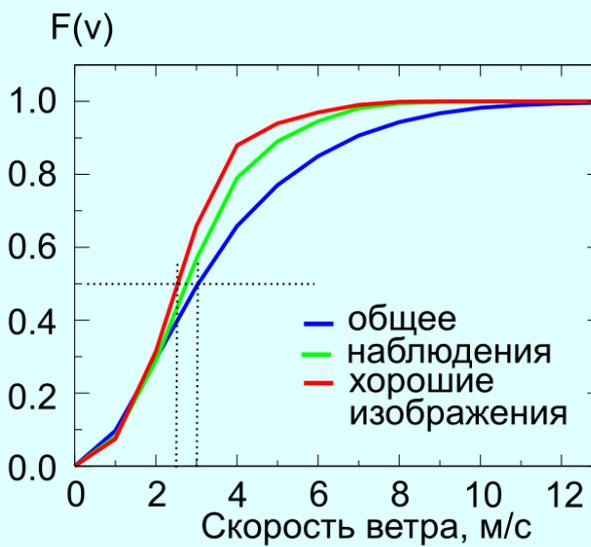
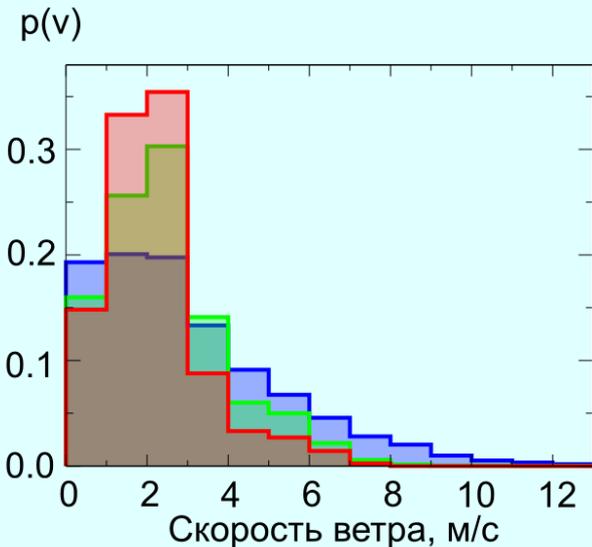
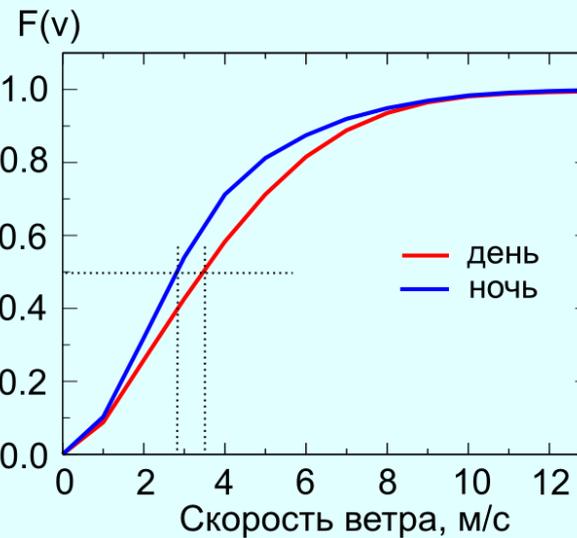
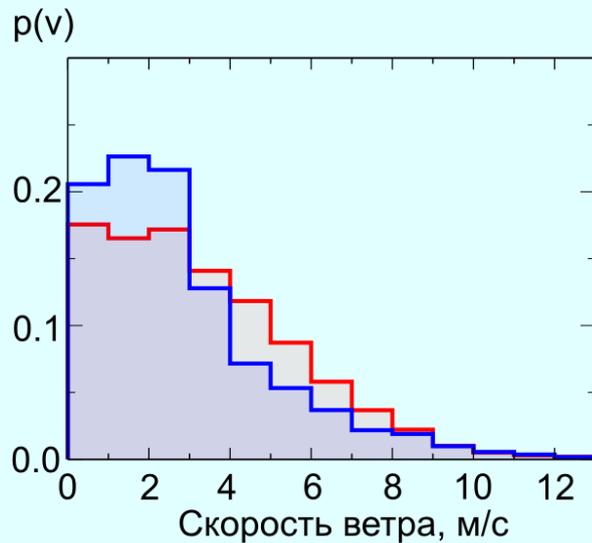
# Информационная структура



машина **eagle** – управление комплексом, http-сервер, хранение данных  
машина **omicron** – связь с ГСС, управление куполом, видеокамеры  
обзора, сигнализация, метеодатчики, управление питанием  
машина **druid** – управление телескопом и прибором, сбор и обработка  
данных с каналов MASS и DIMM

# Метеоданные

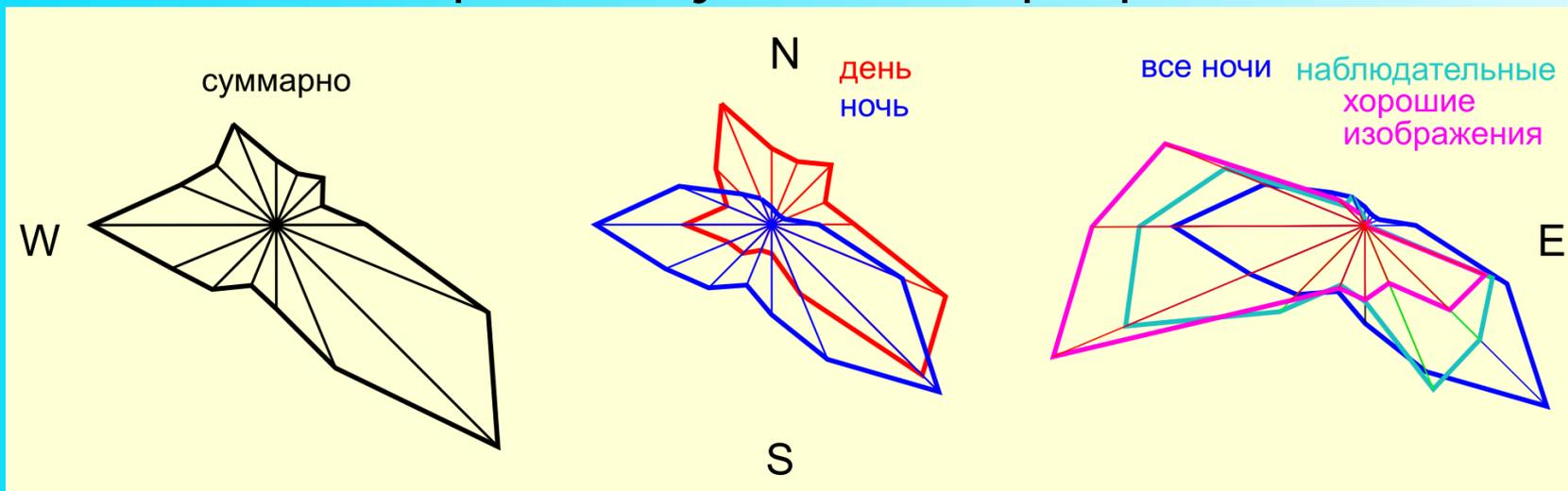
за период август 2007 – февраль 2008



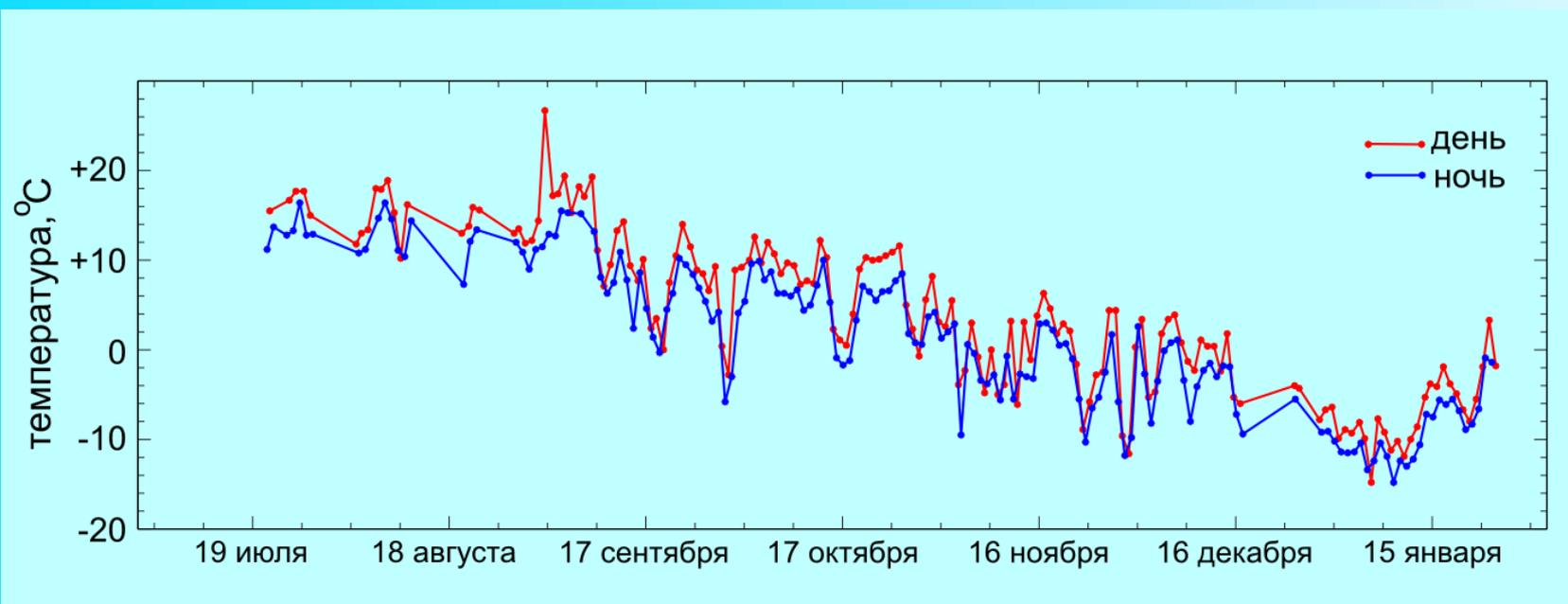
Распределения скорости ветра на вершине  
на уровне 6 м от почвы

# Метеоданные

за период август 2007 – февраль 2008

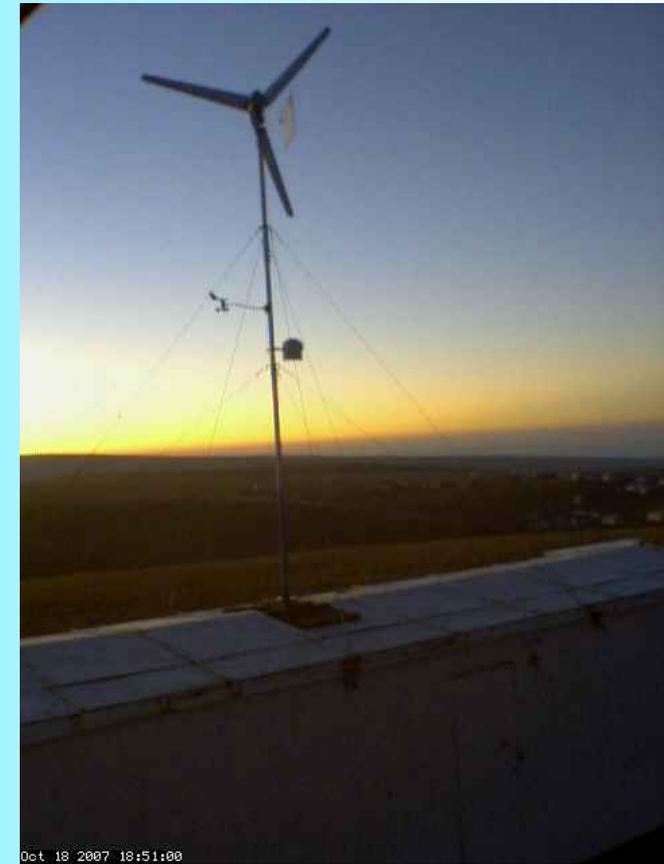
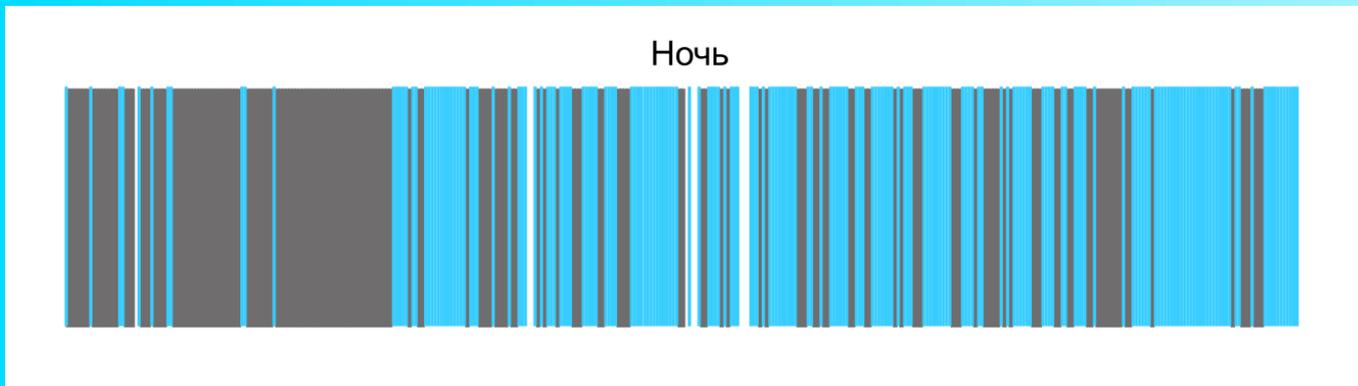
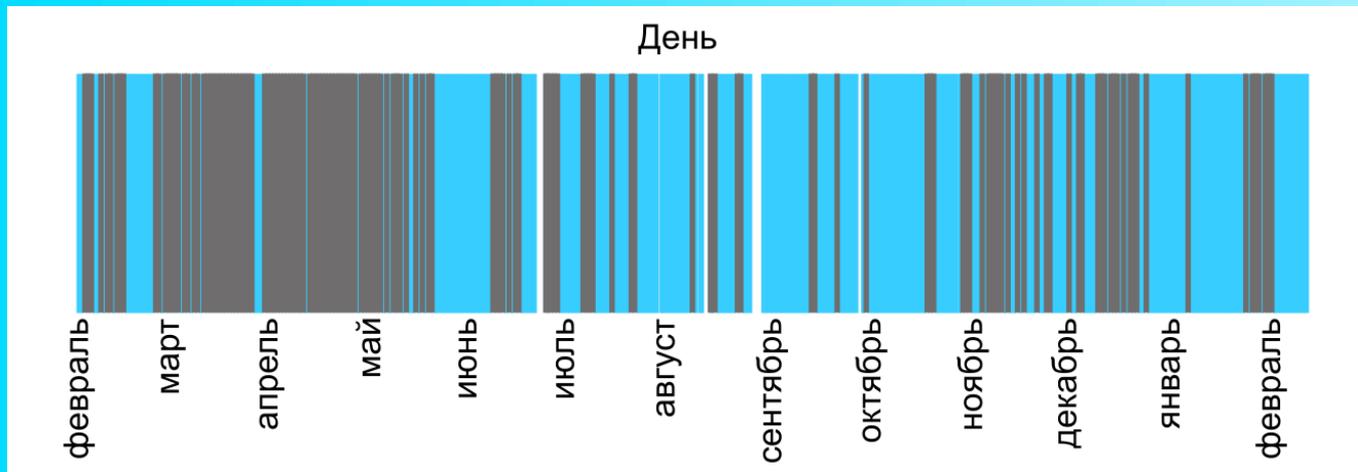


Направление ветра для различных выборок



Полугодовой ход средней ночной и дневной температуры

# Годовой ход ясного дневного и ночного времени по данным датчика ясного неба



Октябрьский вечер.  
Камера внешнего  
наблюдения

# Статистика измерений

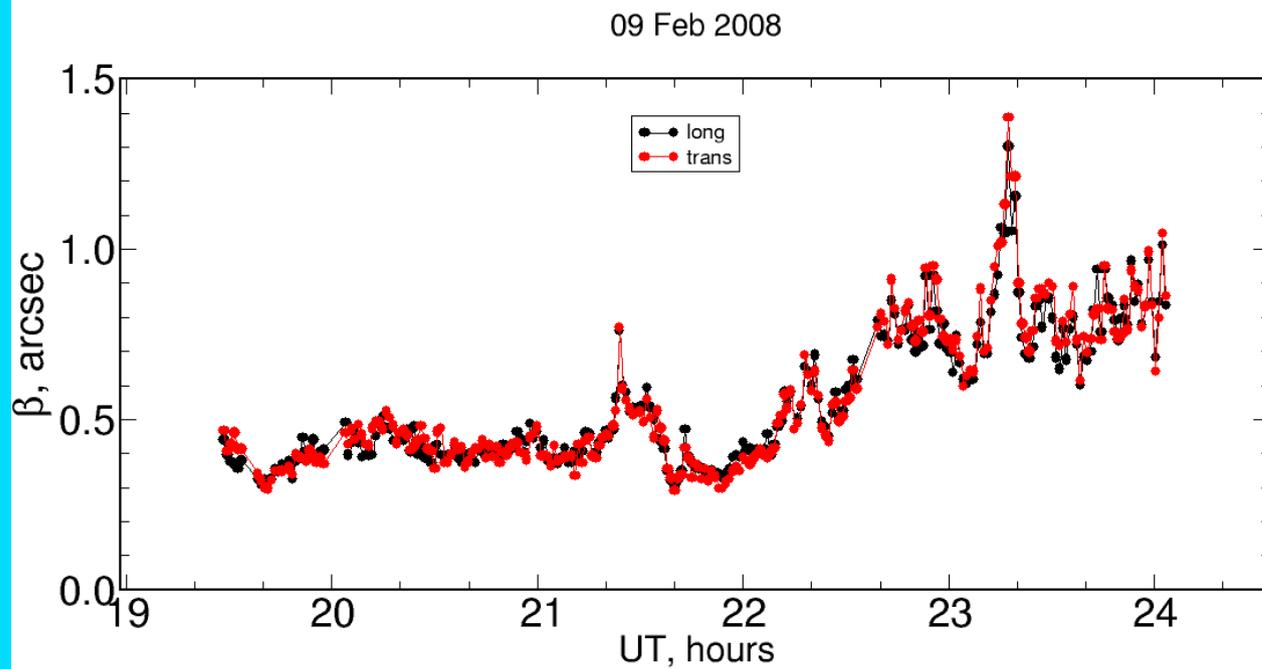
на 13 февраля 2008



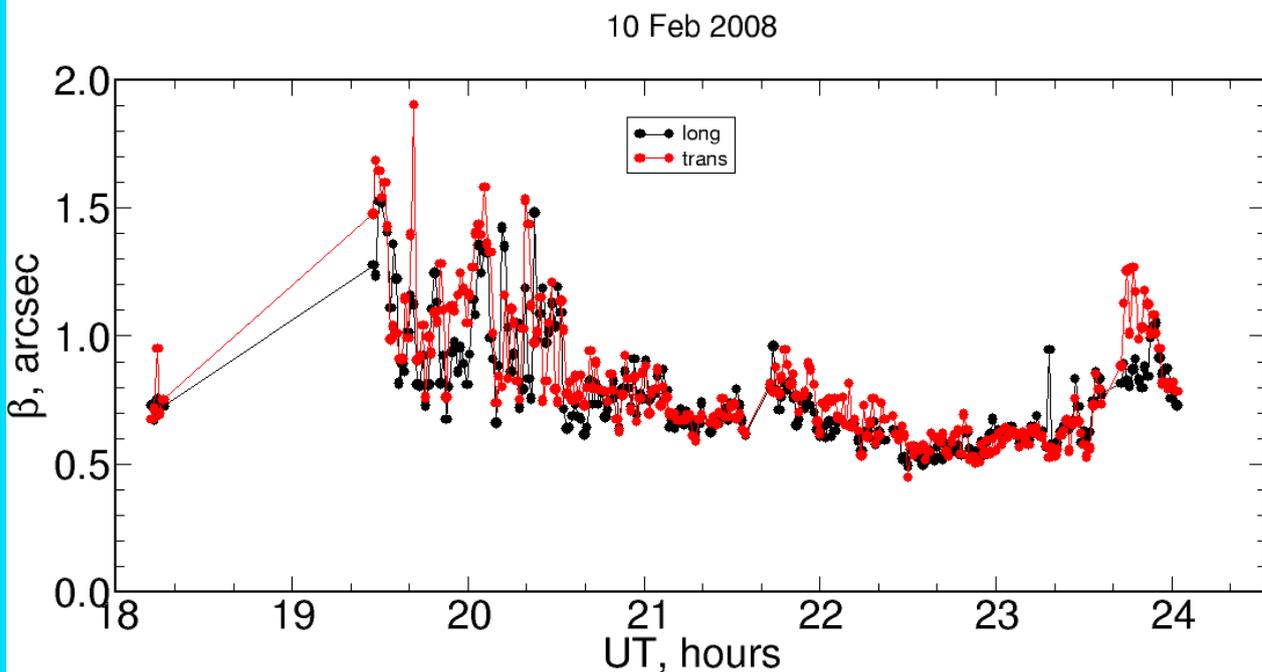
- Сентябрь – 2 ночи
- Октябрь – 10 ночей
- Ноябрь – 13 ночей
- Декабрь – 11 ночей
- Январь – 19 ночей
- Февраль – 13 ночей

**Итого: 68 ночей**

Изображение телескопа во время наблюдений,  
полученное внутренней видеокамерой

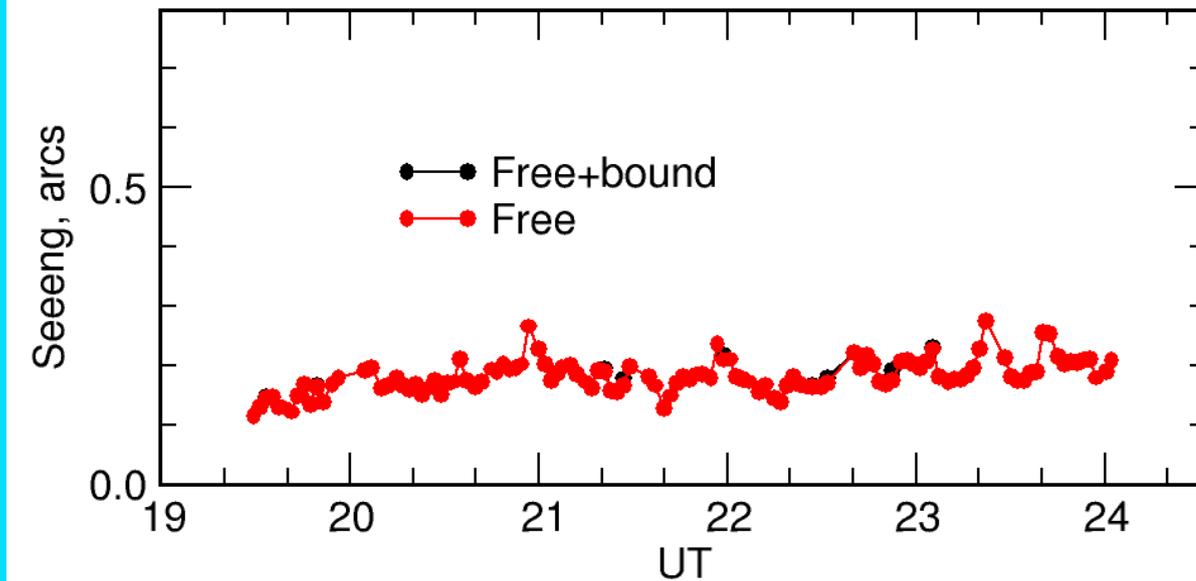
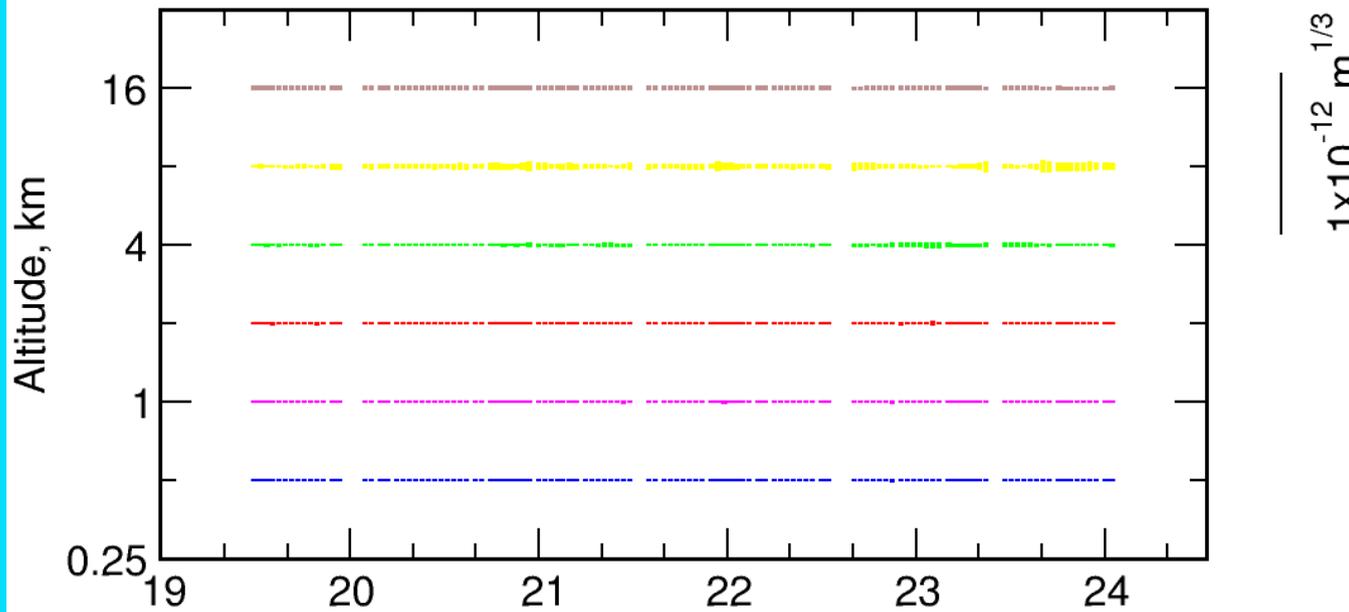


Пример результатов, получаемых с DIMM канала: полное качество изображения (интегральная турбулентность) в ночи 9 и 10 февраля 2008 г.



Черным цветом: по данным измерений продольных дрожаний, красным — по поперечным дрожаниям.

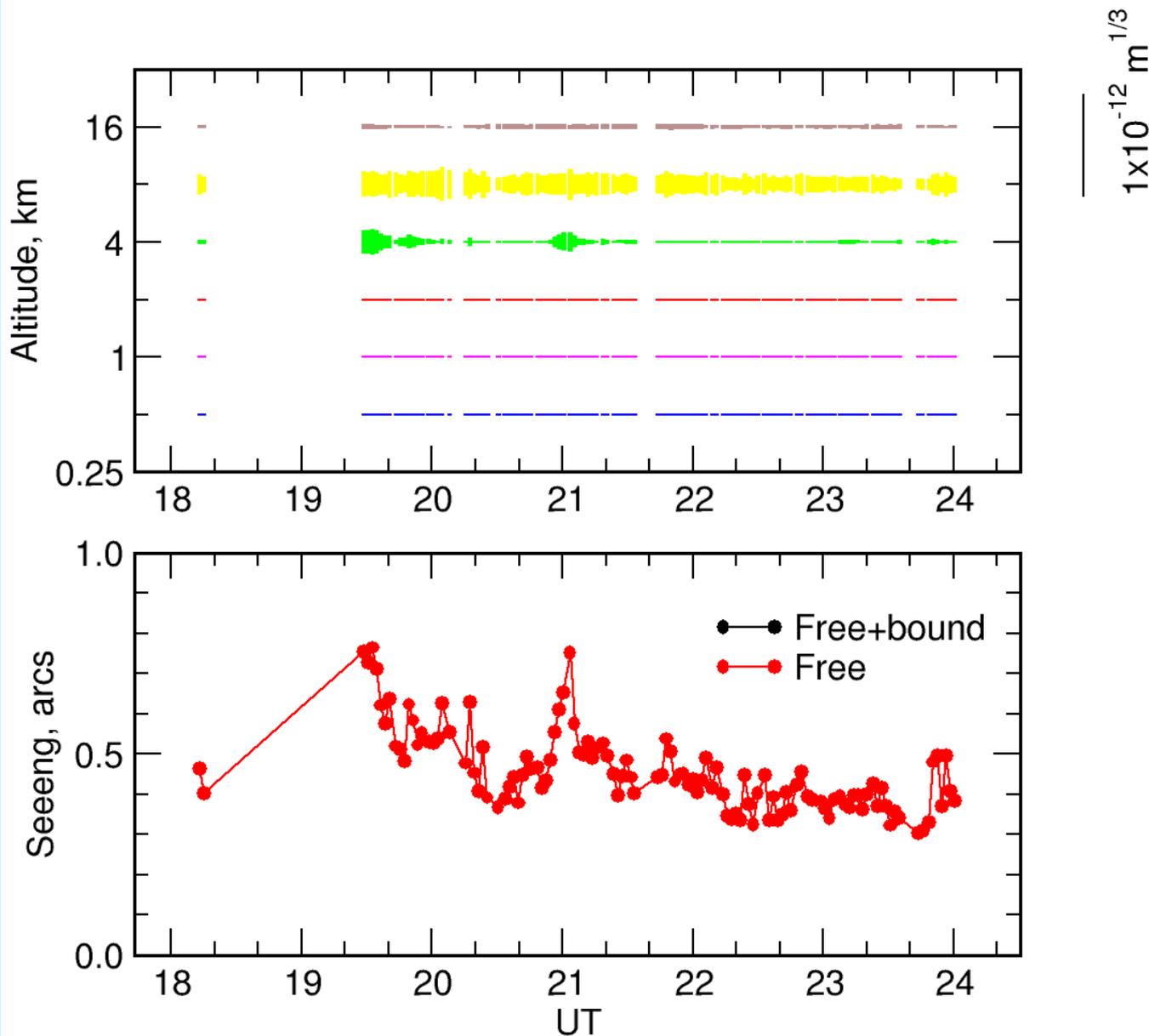
09 Feb, 2008



Турбулентность в свободной атмосфере (внизу) и распределение интенсивности турбулентности по высотам для ночи 9 февраля 2008 г.

Если компенсировать влияние только приземной турбулентности – качество изображения будет порядка  $0''2$

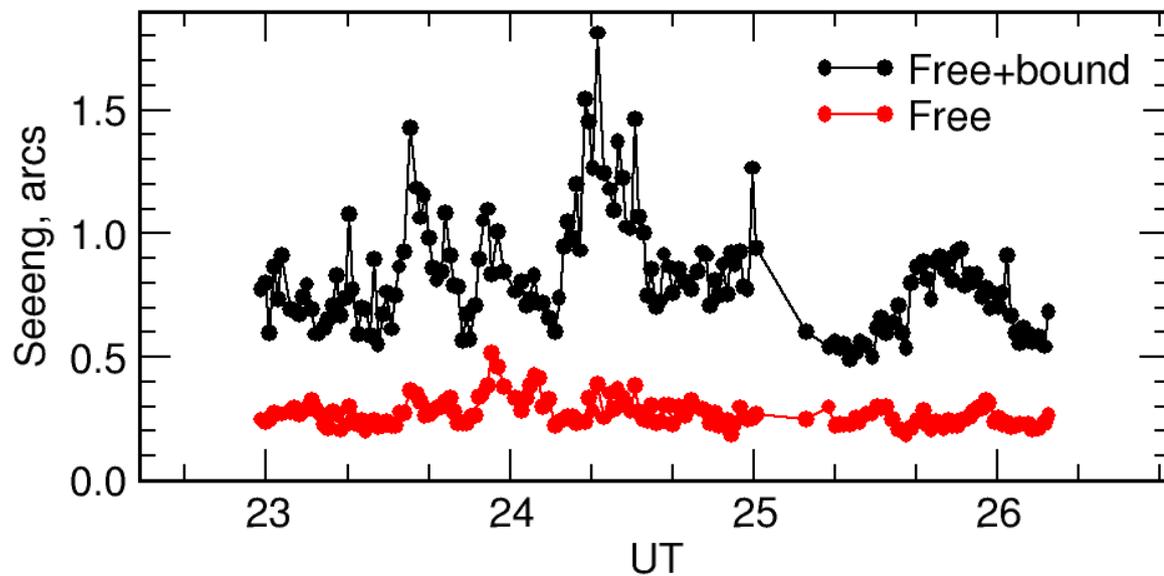
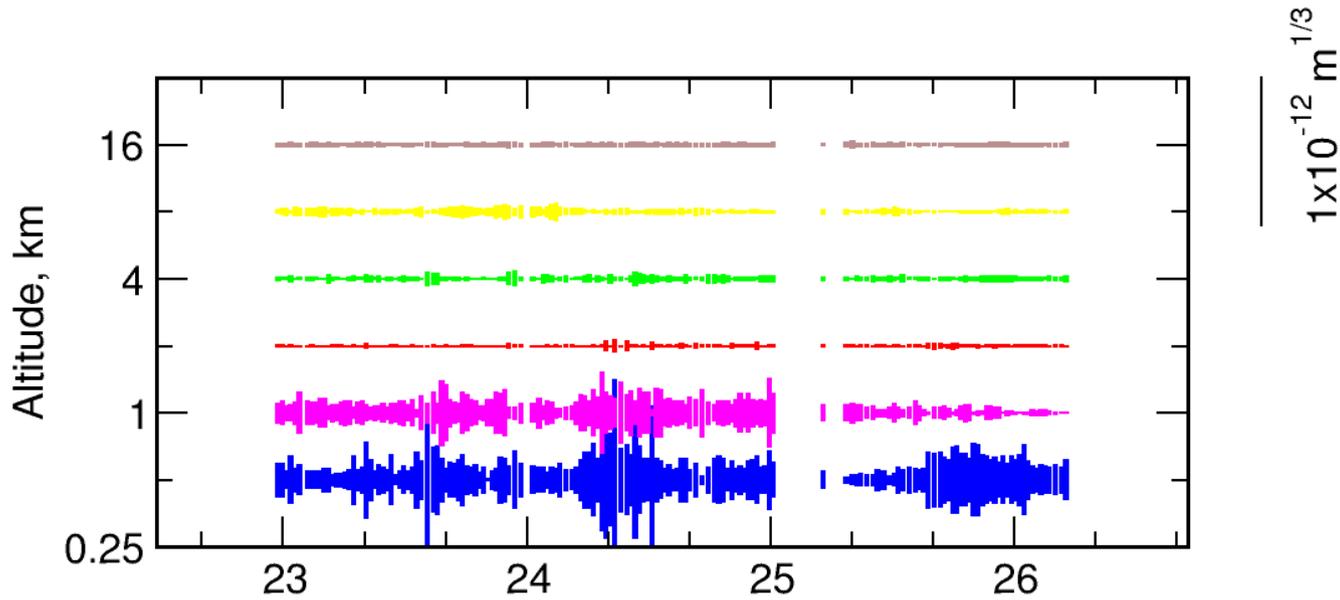
10 Feb 2008



То же для ночи 10 февраля 2008 г. Видна заметная турбулентность на высоте около 8 км (район тропопаузы) и несколько вспышек на высоте 4 км.

Для этой ночи вклад свободной атмосферы около будет порядка  $0''4 - 0''6$ , значительно больший чем 9 февраля.

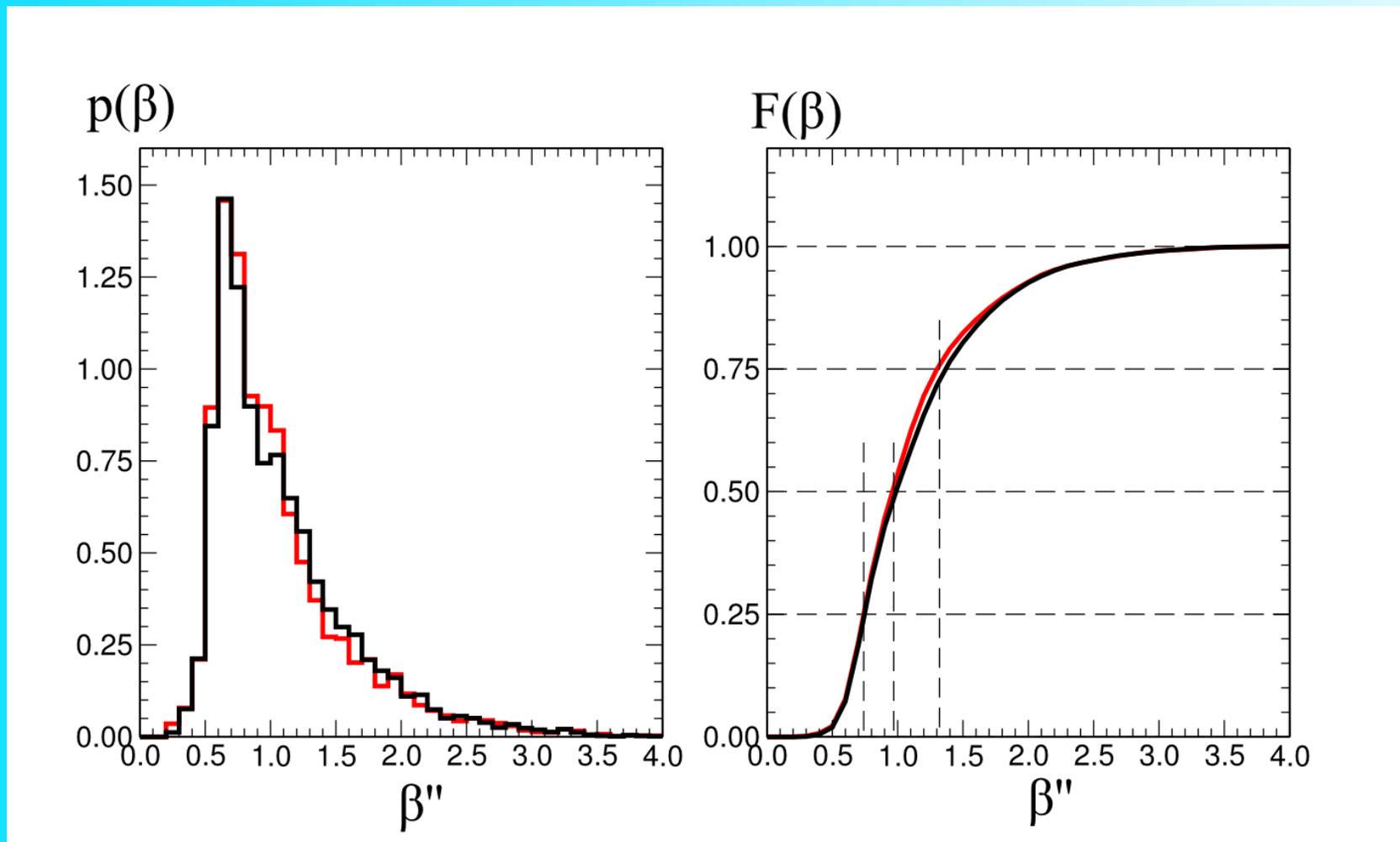
19 Jan 2008



Пример противоположной ситуации – ночь 19 января 2008 г. Вклад атмосферы выше 1 км эквивалентен всего  $0''2 - 0''3$ . Основная турбулентность сосредоточена в приземном и пограничном слое (ниже 1 км).

Качество изображений по данным DIMM для этой ночи составляет в среднем  $1''5$ .

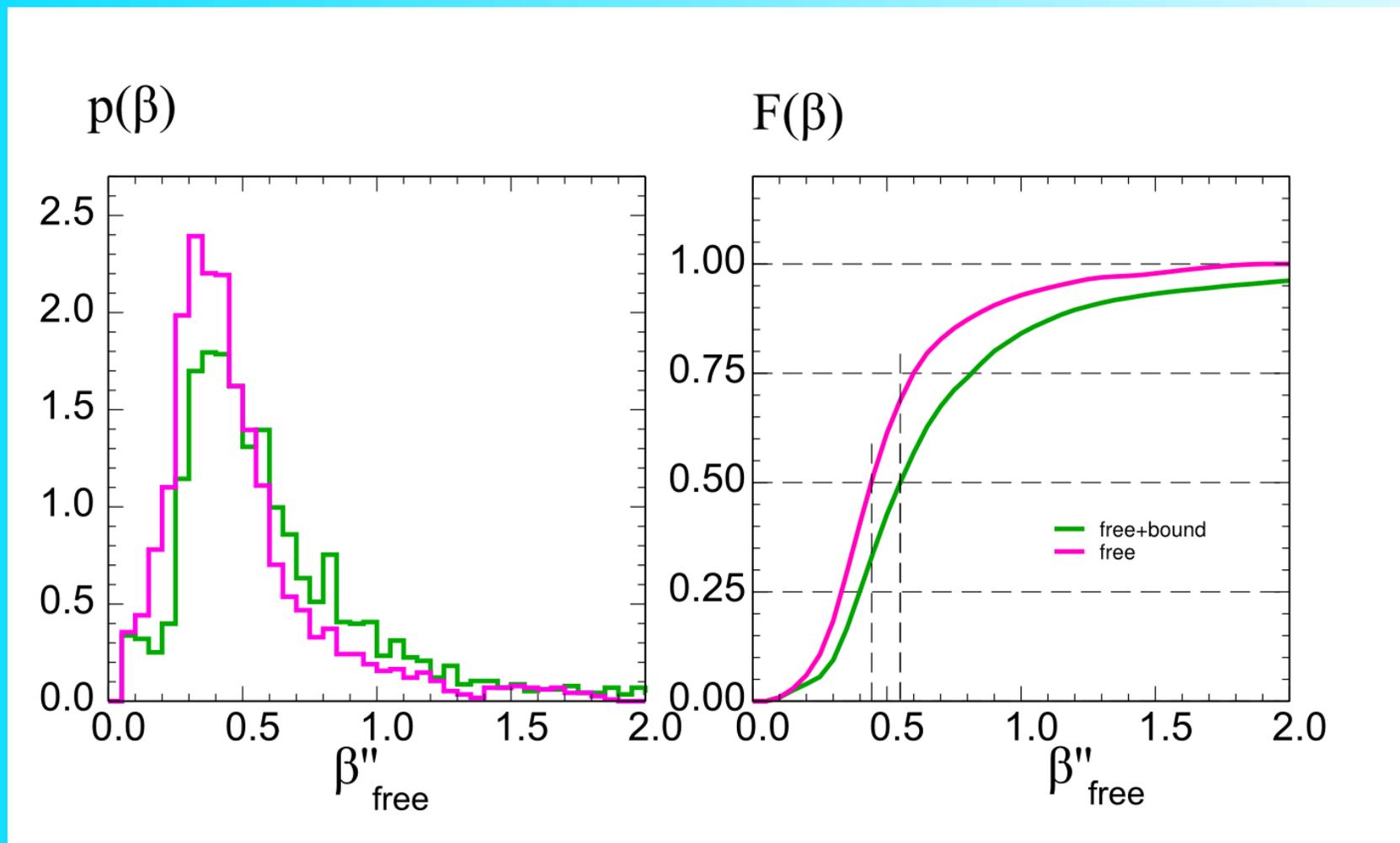
# Статистика за 3 месяца 2007 г.



Плотность вероятности и кумулятивное распределение качества изображения по измерениям с DIMM:

медиана – 0.96", первый и последний квантиль – 0.74" и 1.32"

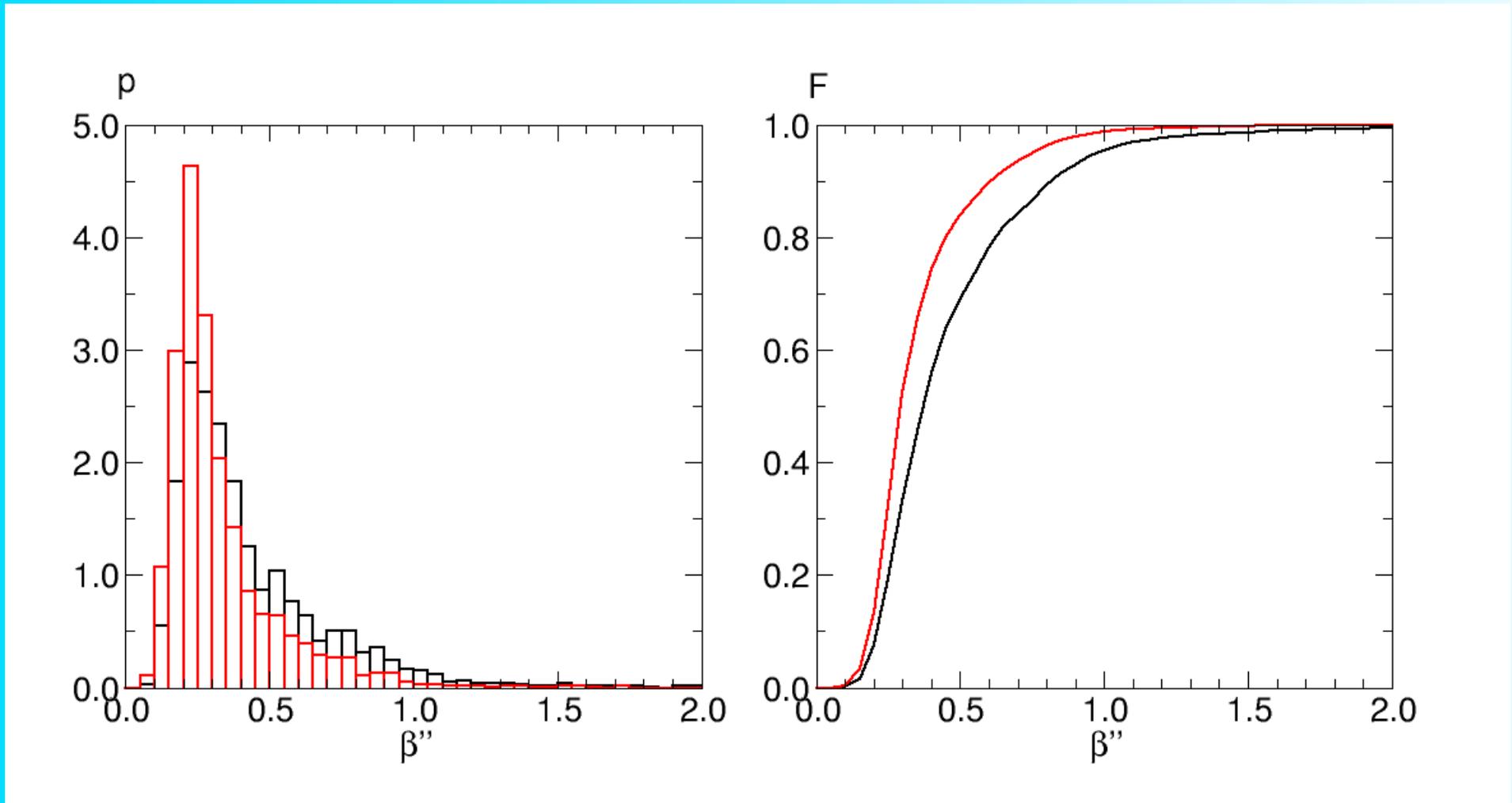
# Статистика за 3 месяца 2007 г.



Плотность вероятности и кумулятивное распределение качества изображения в свободной атмосфере по измерениям с MASS:

медiana – 0.44" (выше 1 км) и 0.55" (включая слой 1 км)'

# Статистика за январь - февраль 2008 г.



Плотность вероятности и кумулятивное распределение  
качества изображения в свободной атмосфере :  
медiana – 0.29" (выше 1 км) и 0.37" (включая слой 1 км)'

Конец 1-ой серии  
Продолжение через год