

Результаты исследований астроклимата КГО в 2007 – 2008 гг.

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

Москва, 2009

Астроклиматический монитор ГАИШ на горе Шатджатмаз



Фото Н.Шатского аппаратом А.Белинского. Июль 2008

Цели исследований оптической турбулентности и других астроклиматических характеристик места установки 2.5 м телескопа

- 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 поддерживались грантом 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. Основной параметр, характеризующий 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

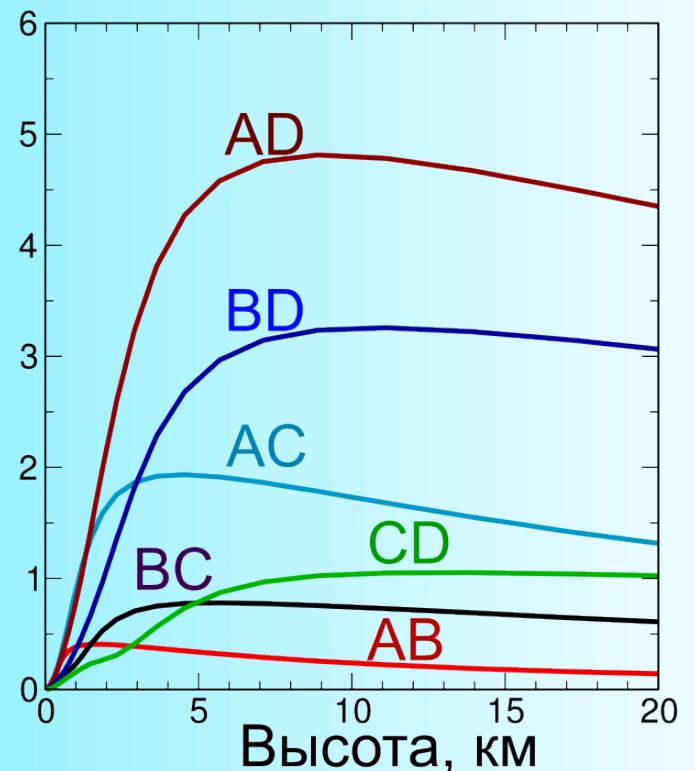
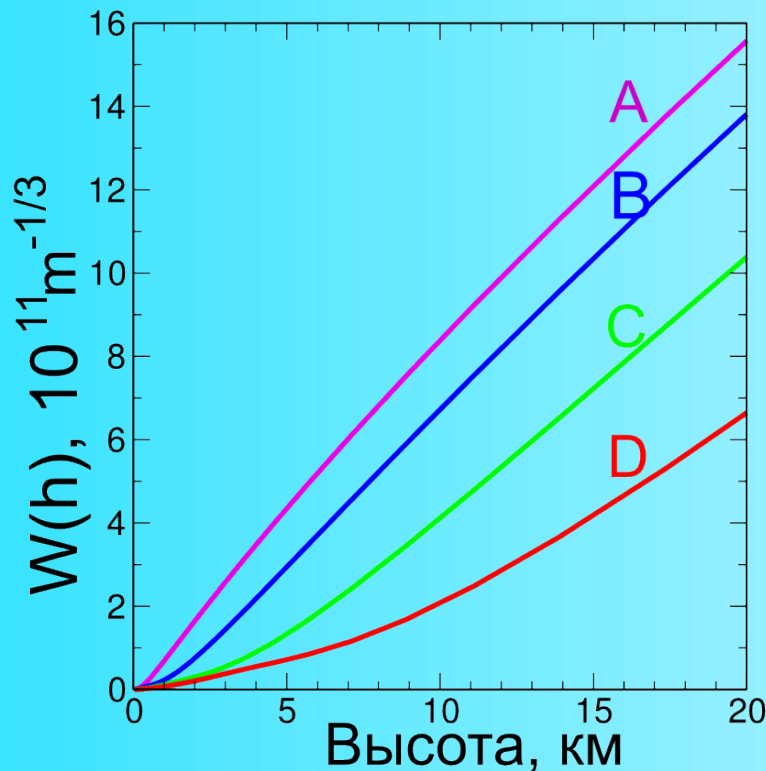
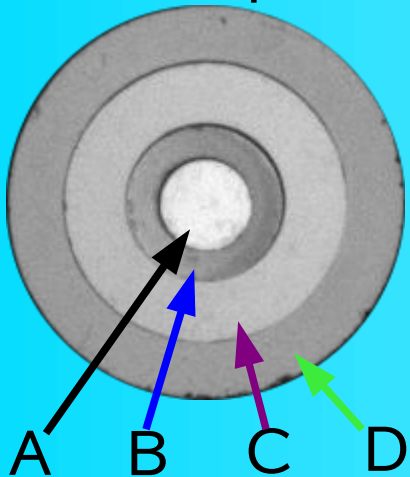
дифференциальный

теоретический

индекс мерцаний

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

Для нашей геометрии

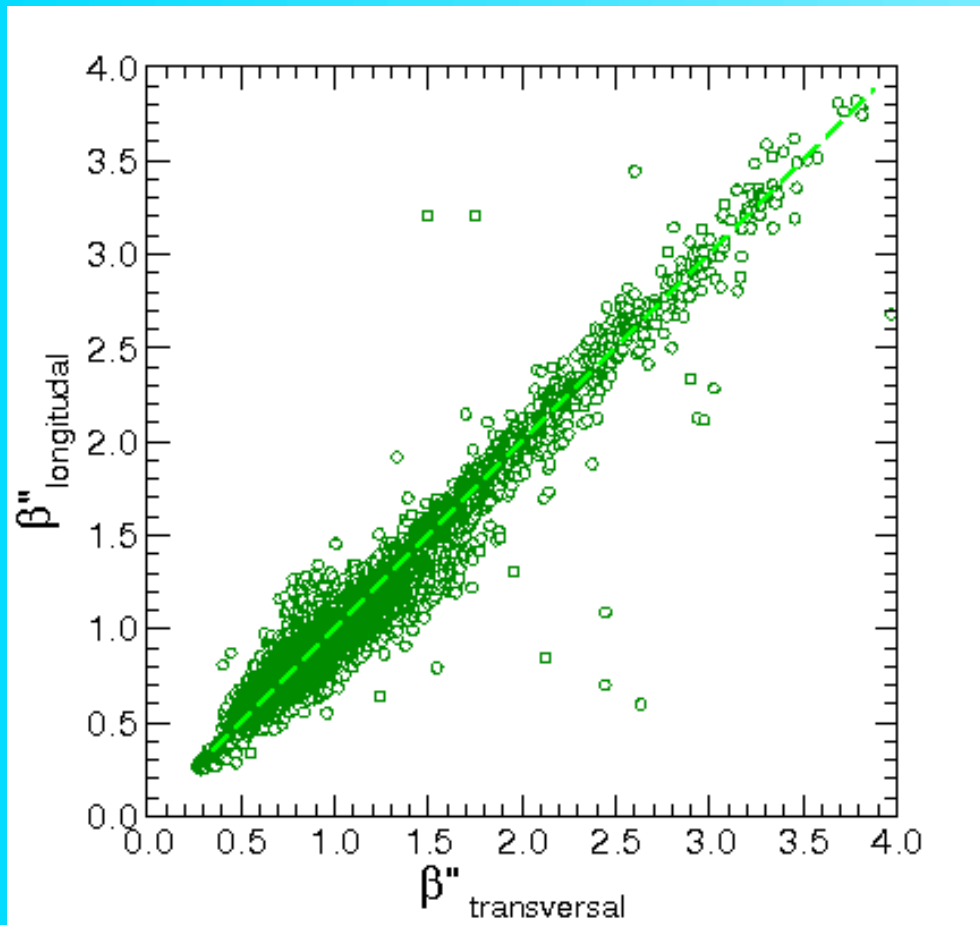


$$s^2 = \langle (\Delta \ln I)^2 \rangle$$

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

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

DIMM – монитор дифференциальных дрожаний изображений звезд



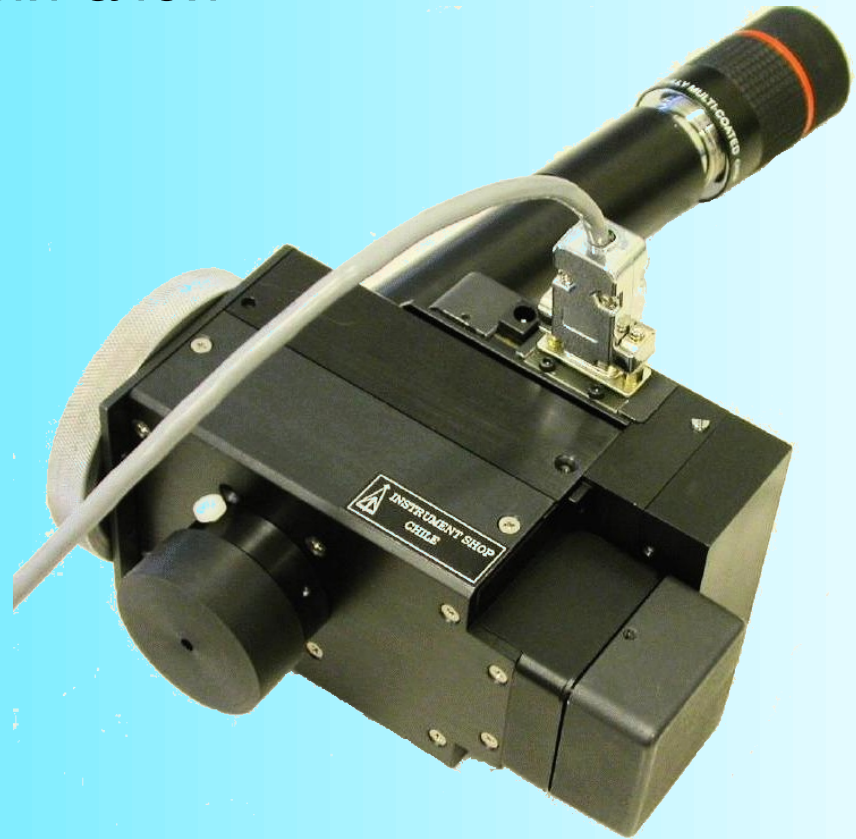
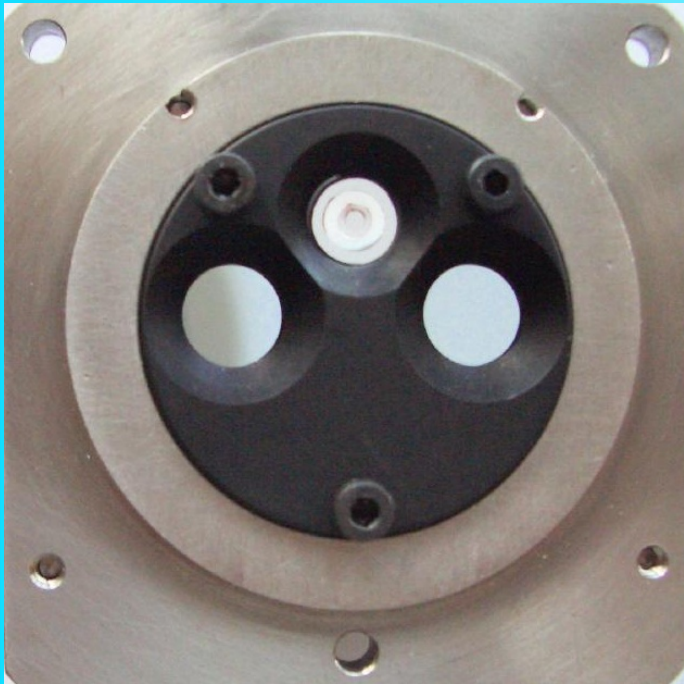
Основное соотношение, связывающее измеряемые дифференциальные дрожания в приборе DIMM с радиусом Фрида (и, следовательно, качеством изображения)

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

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 высотного профиля оптической турбулентности

Энергетический вопрос

Благополучно разрешен прокладкой электрического кабеля от ГАС к вагончику.

Схема электропитания монитора осталась прежней, только аккумуляторы теперь заряжаются от сети по мере необходимости (раз в 7 – 15 дней)



Прокладка кабеля длиной 800 м
в июле 2008



Телескопный вопрос



Телескоп RCX400 с прибором MASS/DIMM и специальным противоросником. Март 2008

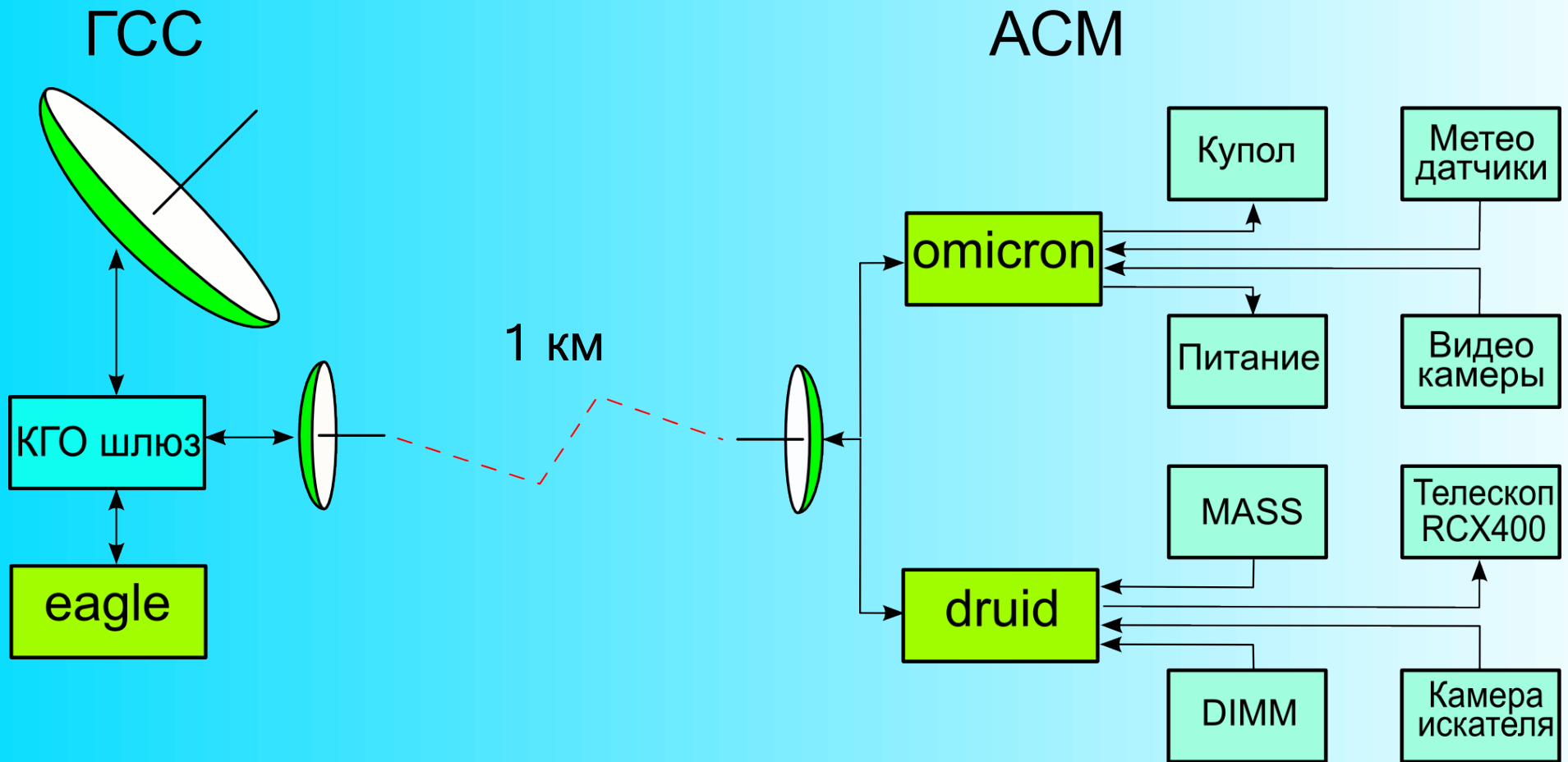
За 18 месяцев опробовано 4 разных метода работы с телескопом.

Три проблемы так и не решены окончательно:

- Разъюстировка телескопа при фокусировке
- Расхождение осей гида и телескопа (зависит от температуры)
- Сбой системы координат раз в 2-3 недели (раньше было чаще)

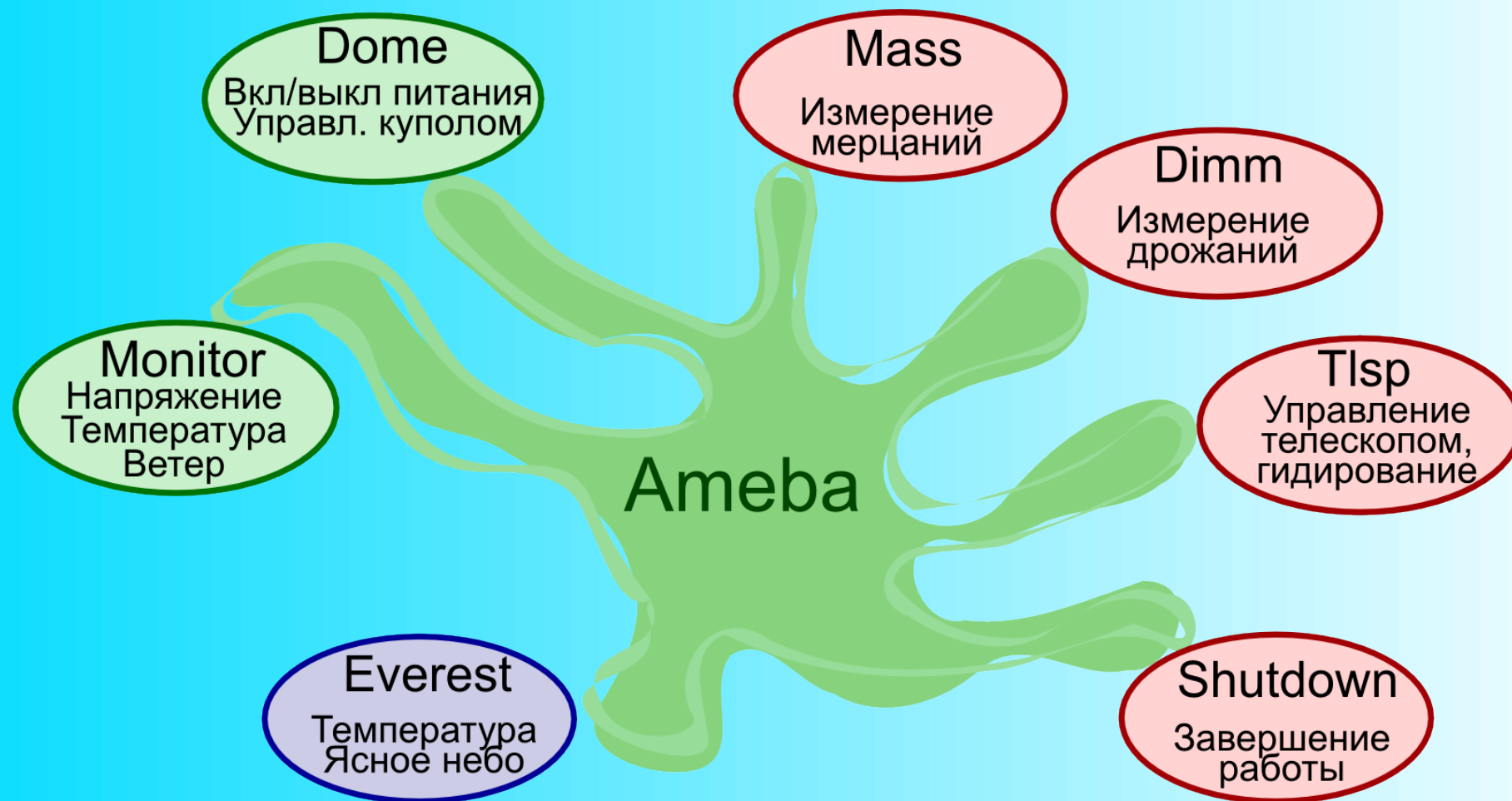
Тем не менее, выполнено 1926 успешных наведений на звезды

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

Программная структура

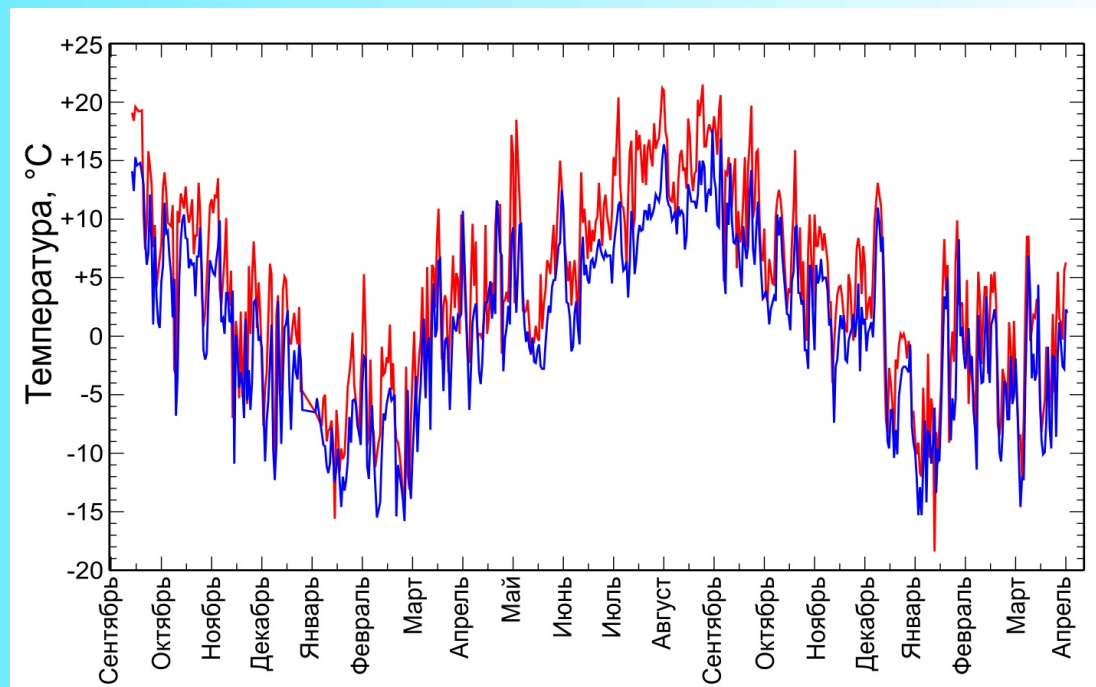


Управляющая программа взаимодействует с 7 компонентами на 3 компьютерах через сетевые соединения. Каждый компонент – отдельная программа, работающая в фоновом режиме и обслуживающая определенные функции. Программные компоненты запускаются при старте компьютеров или в назначенное время.

Логика автоматической работы

- Вычисление начала и конца ночи
- Слежение за временем, состоянием неба, силой ветра и напряжением питания
- Если условия для измерений выполнены, то начало сессии наблюдений
- Открывание купола, включение компьютера druid, проверка работы программных компонент и инициализация приборов.
- Выбор объекта по условиям блеска, высоты над горизонтом, расстояния от Луны, продолжительности измерений
- Наведение на объект, центрирование, верификация, запуск гидирования
- Измерение объекта в течение 1.5 часов или до нарушения одного из условий выбора
- Измерение фона: до и после начала измерений выбранной звезды, но не реже 1 раза в час
- При уменьшении измеряемых потоков (облака?) – перевод на следующий объект. После 3-ей попытки – завершение сессии на 20-30 минут
- Если условия для измерений ухудшились – завершение сессии до восстановления условий
- Полное завершение в момент рассвета

Метеоданные



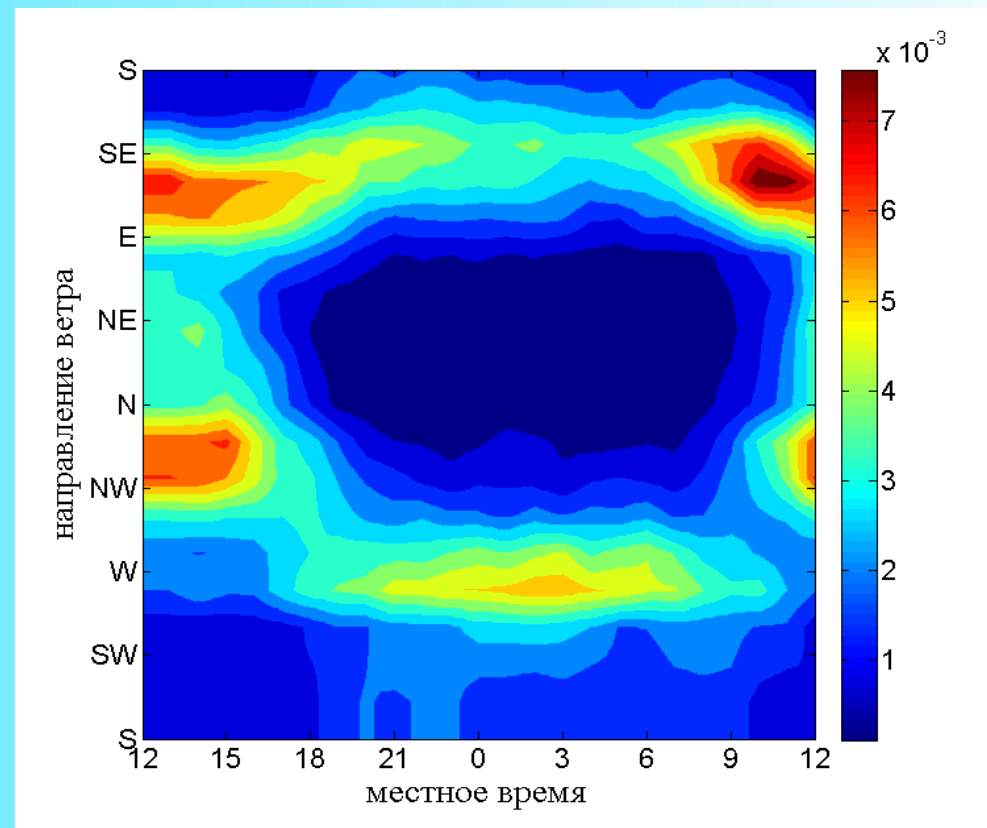
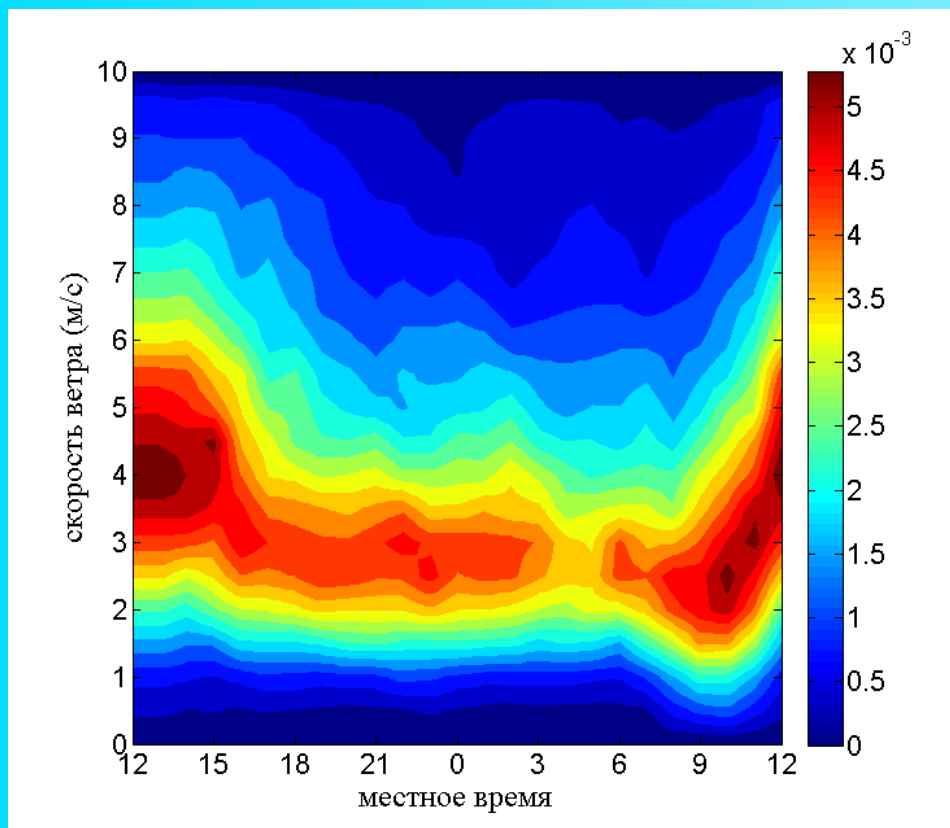
Ход дневной (полдень) и ночной (полночь) температур в течение периода наблюдений

Характеристики распределения скорости ветра (м/с) в ясное ночное время

25%	50%	75%	98%
1.4	2.3	3.6	9.0

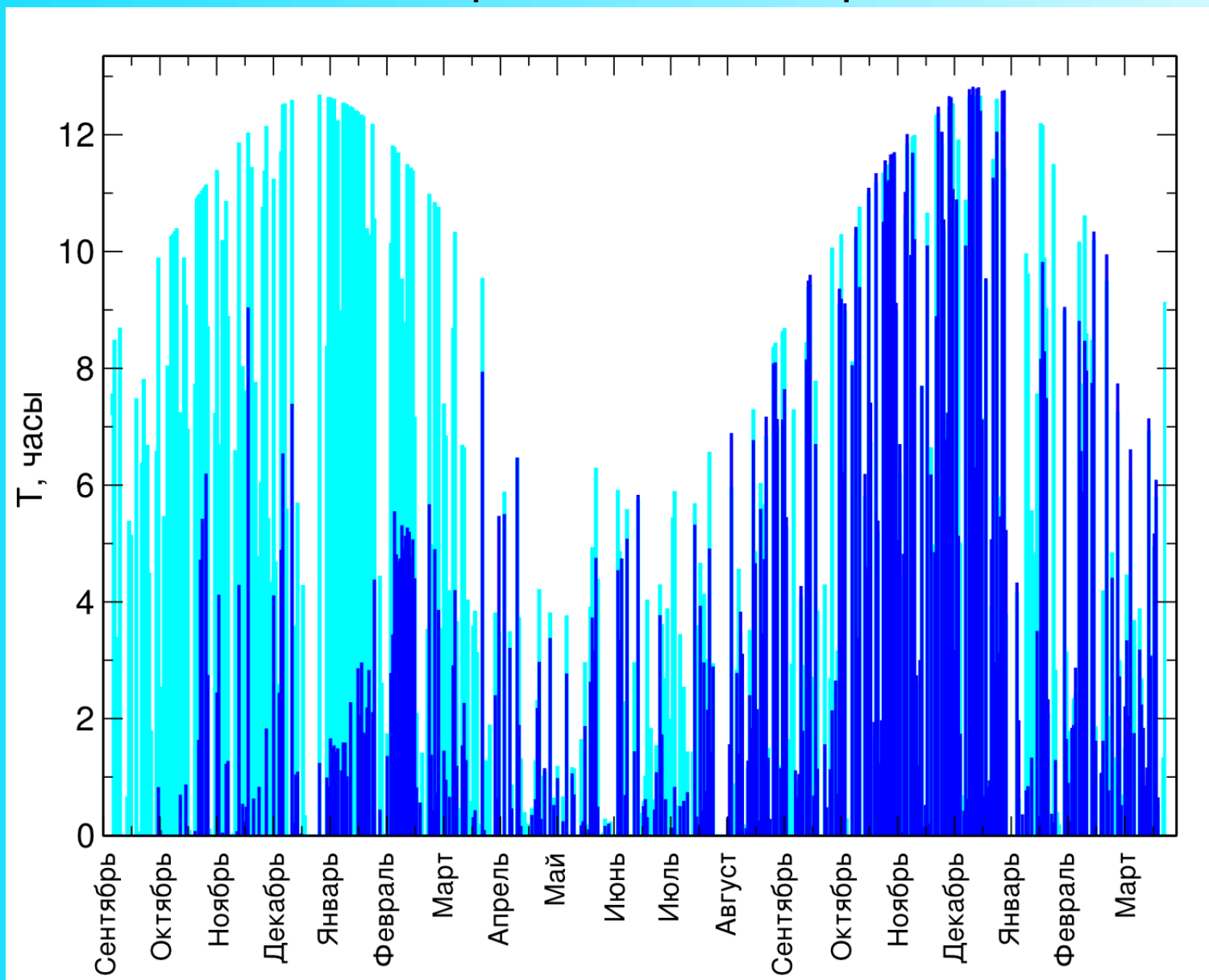
Метеоданные

за период сентябрь 2007 – март 2009



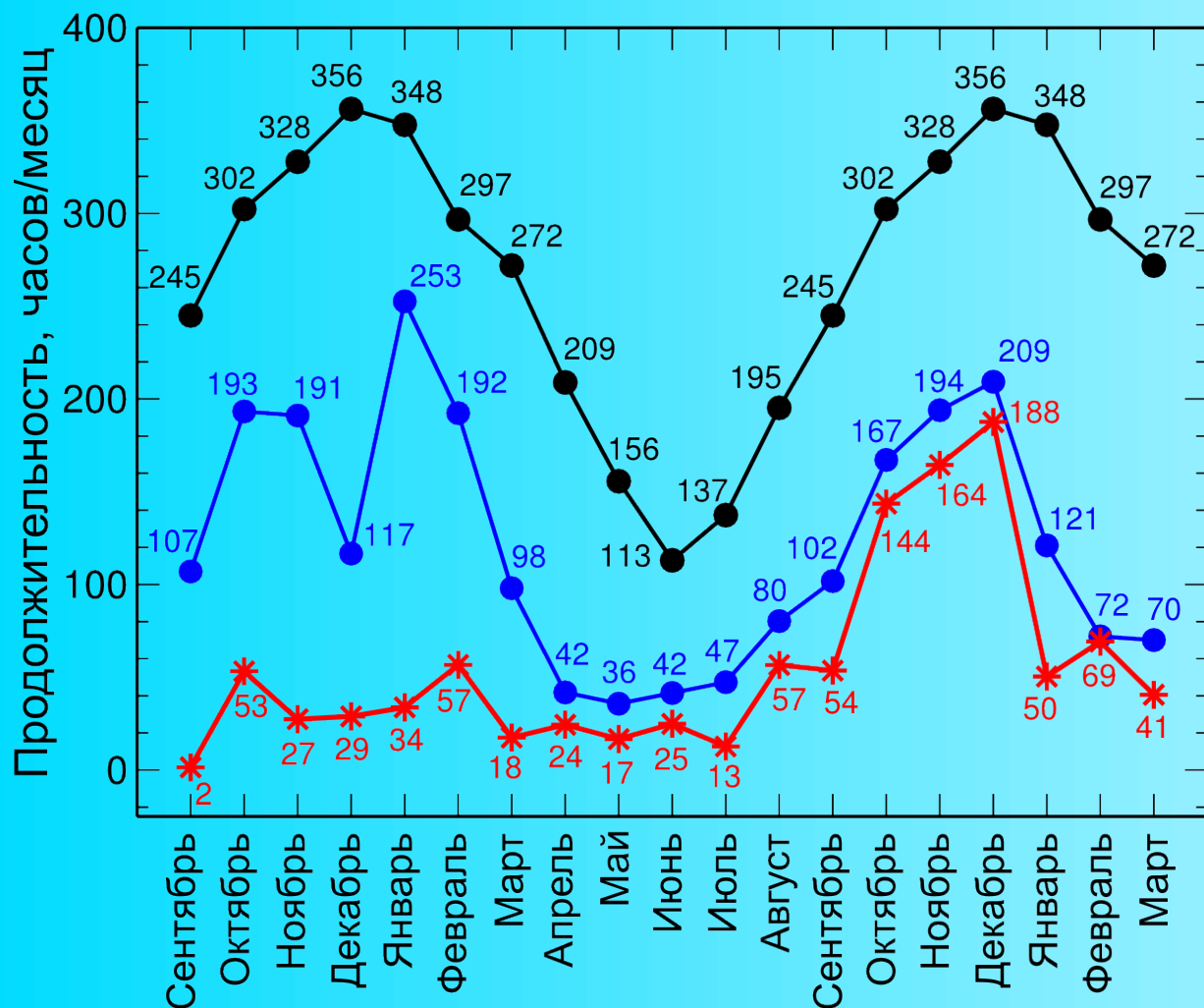
Слева: двумерная (местное время – скорость ветра) плотность вероятности. Справа: то же самое для направления ветра и местного времени. Видно, что в темное время скорость систематически меньше, а основное направление ветра – западное.

Статистика ясного времени и измерений с 1 сентября 2007 по 1 апреля 2009



Голубые штрихи – продолжительность ночного ясного времени, синие – продолжительность наблюдений для каждой календарной ночи

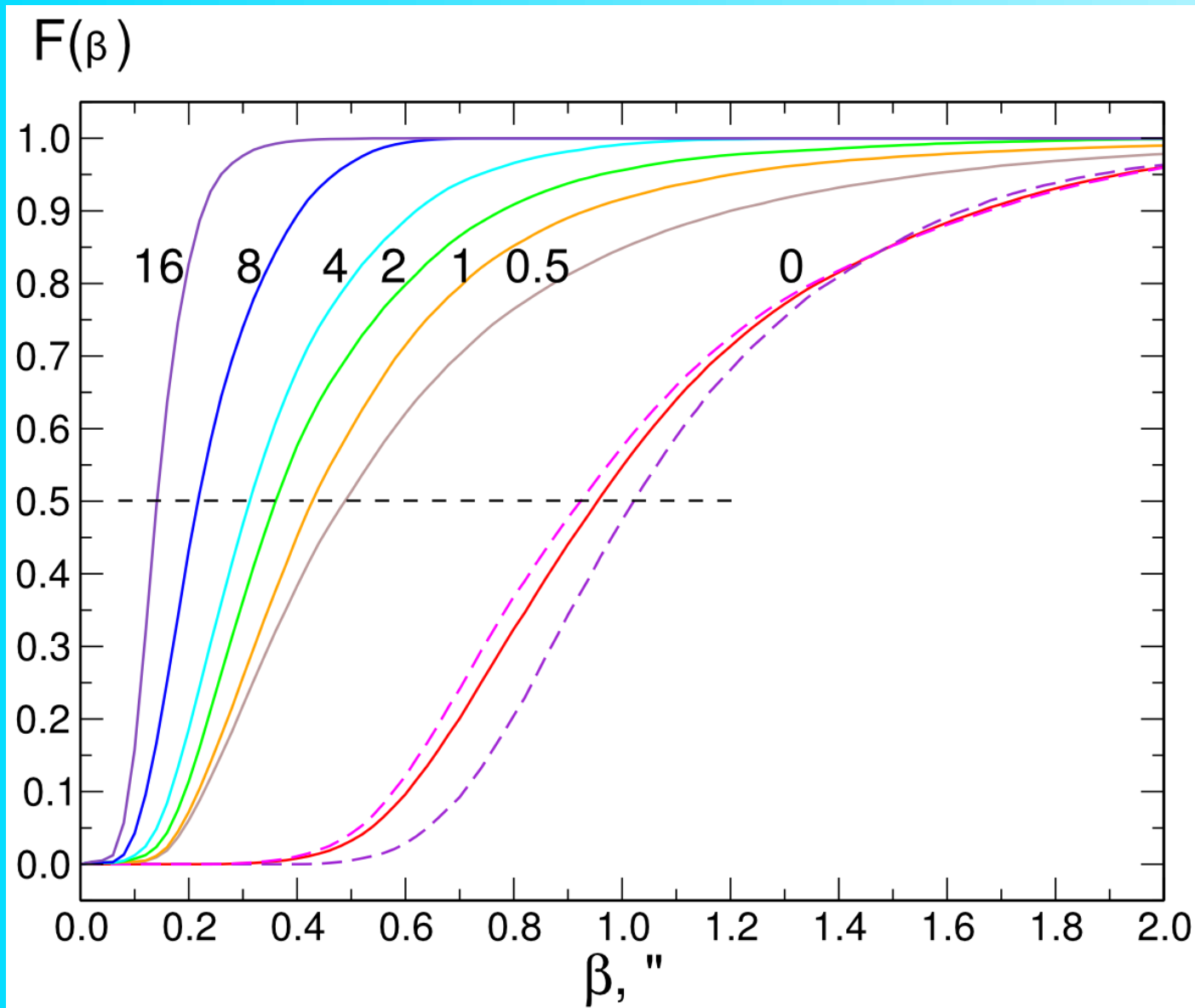
Статистика ясного времени и измерений с 1 сентября 2007 по 1 апреля 2009



- Полная продолжительность темного времени **5105 часов**
- Суммарное ясное ночное время **2461 час**
- Общая продолжительность наблюдений **1326 часов**
- Суммарная продолжительность измерений **1064 часа**

Черная кривая – суммарная продолжительность астрономического ночного времени. Синяя кривая – общая продолжительность ясного времени. Красная – суммарная продолжительность измерений в течение месяца

Статистика качества изображения



Кумулятивные распределения качества изображений для разной атмосферной толщи: 0 – вся атмосфера, 0.5 – слой 0.5 км и выше, 1 – слой 1 км и выше, и т.д.

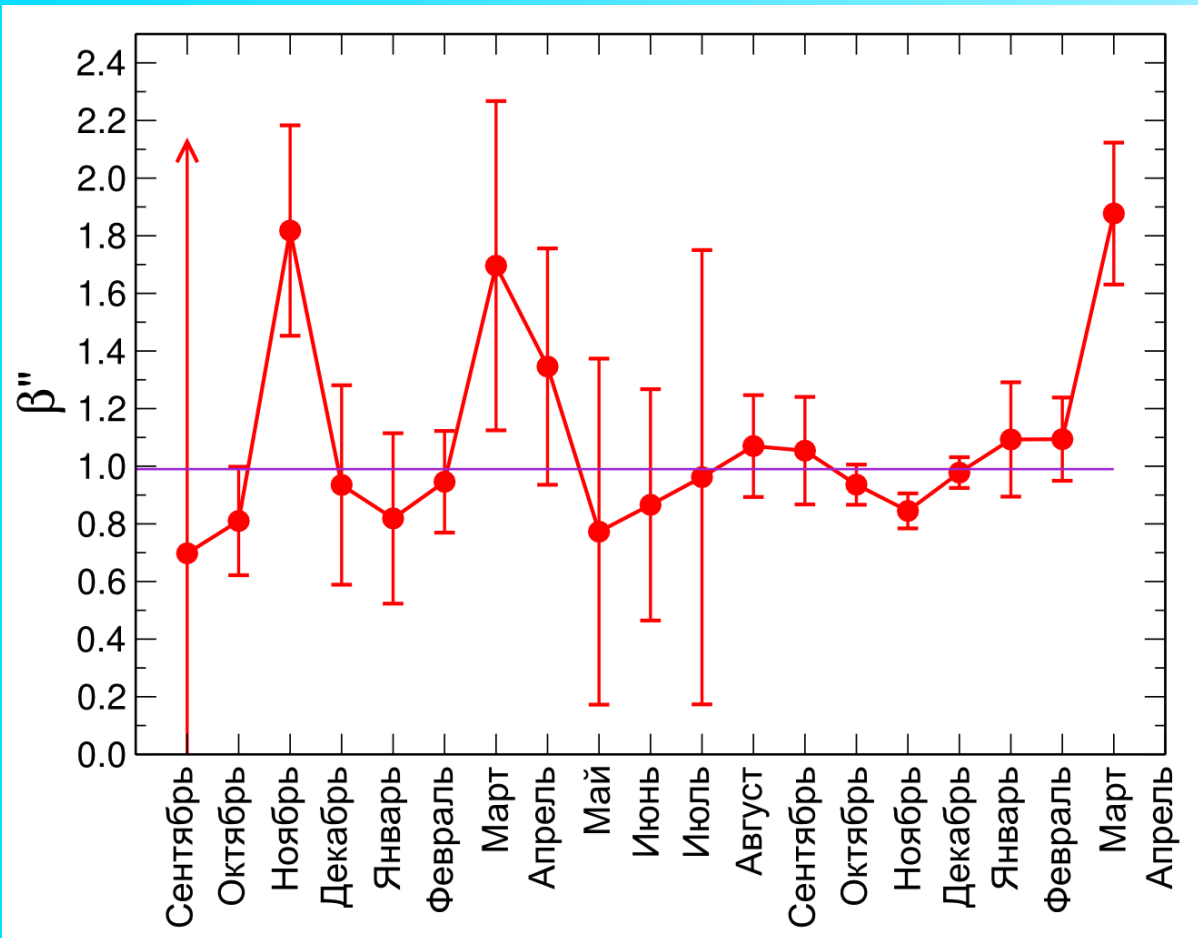
Розовая и фиолетовая штриховые кривые – зима и лето, соответственно

Качество изображения

Распределение	25%	50%	75%
DIMM (все данные)	0.77	0.99	1.32
DIMM (летний период)	0.83	1.04	1.30
DIMM (зимний период)	0.76	0.98	1.33
MASS (0.5 – 16 км)	0.35	0.54	0.90
MASS (1 – 16 км)	0.31	0.46	0.71
MASS (2 – 16 км)	0.26	0.38	0.59
MASS (4 – 16 км)	0.23	0.33	0.49
MASS (8 – 16 км)	0.17	0.23	0.33
MASS (16 км слой)	0.11	0.14	0.18

Напомним, что медиана данных DIMM на 15 февраля 2008 была 0.96", а на 1 декабря 2008 – 0.95". Статистика заметно изменилась за период декабрь 2008 – март 2009

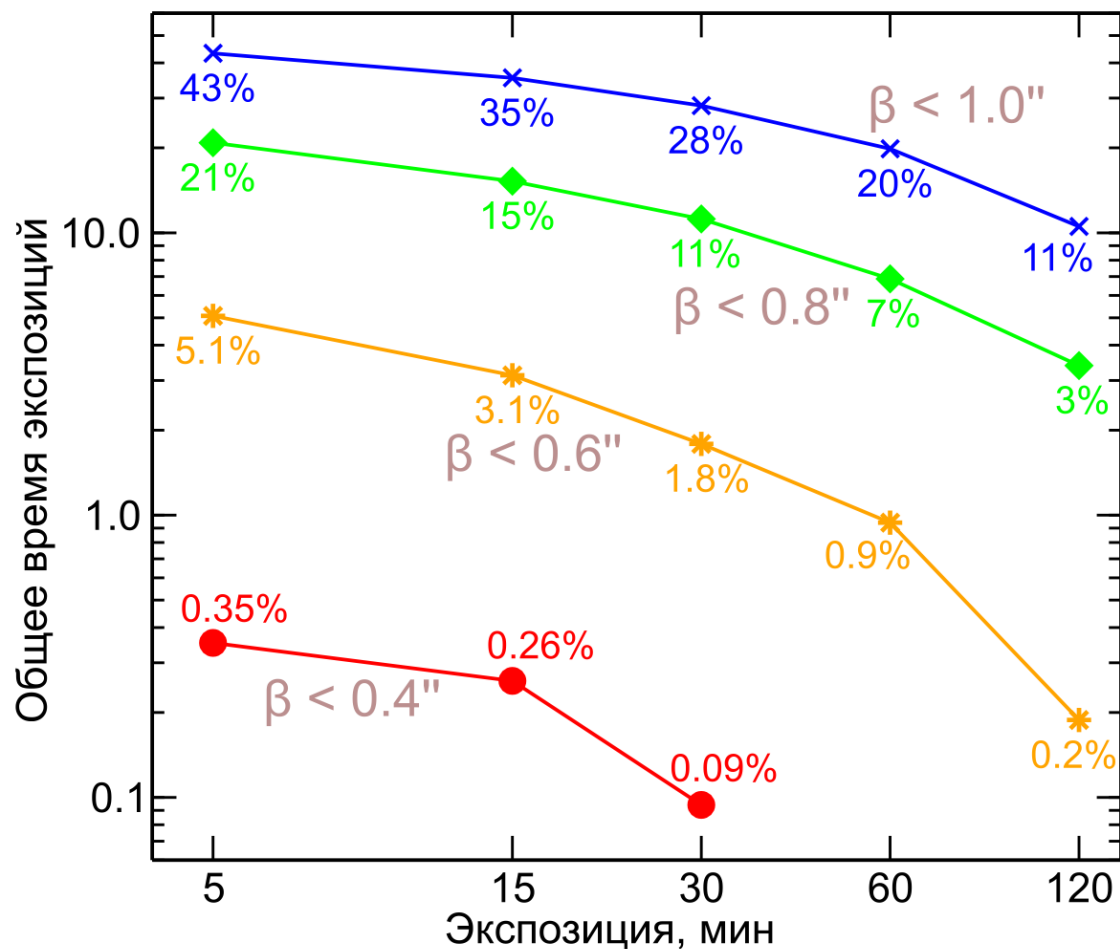
Качество изображения



Вариации ежемесячных медиан качества изображения. Вертикальные сегменты обратно-пропорциональны числу оценок

Значительность вариаций подчеркивает нестационарный характер исследуемого явления на временных масштабах больше 1 года

Качество изображения и продолжительность экспозиций

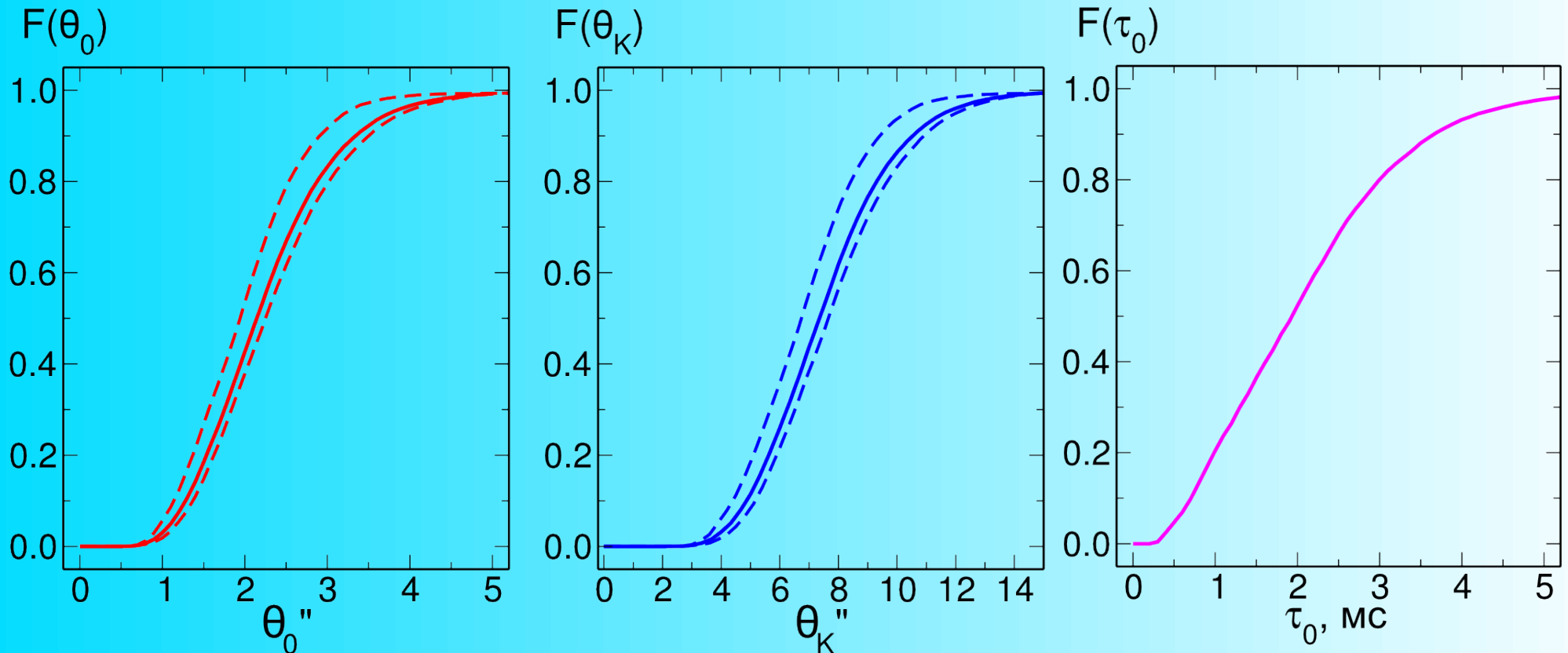


Доля времени, пригодная для получения изображений с требуемой экспозицией при заданном качестве изображения.

За весь период можно было получить 11 снимков с экспозицией 15 мин при изображении лучше 0"4

Не говоря о разрешении, 0.6" вместо 1" – это одна дополнительная звездная величина, а изображения в 0.4" – две зв. величины

Дополнительные характеристики турбулентной атмосферы

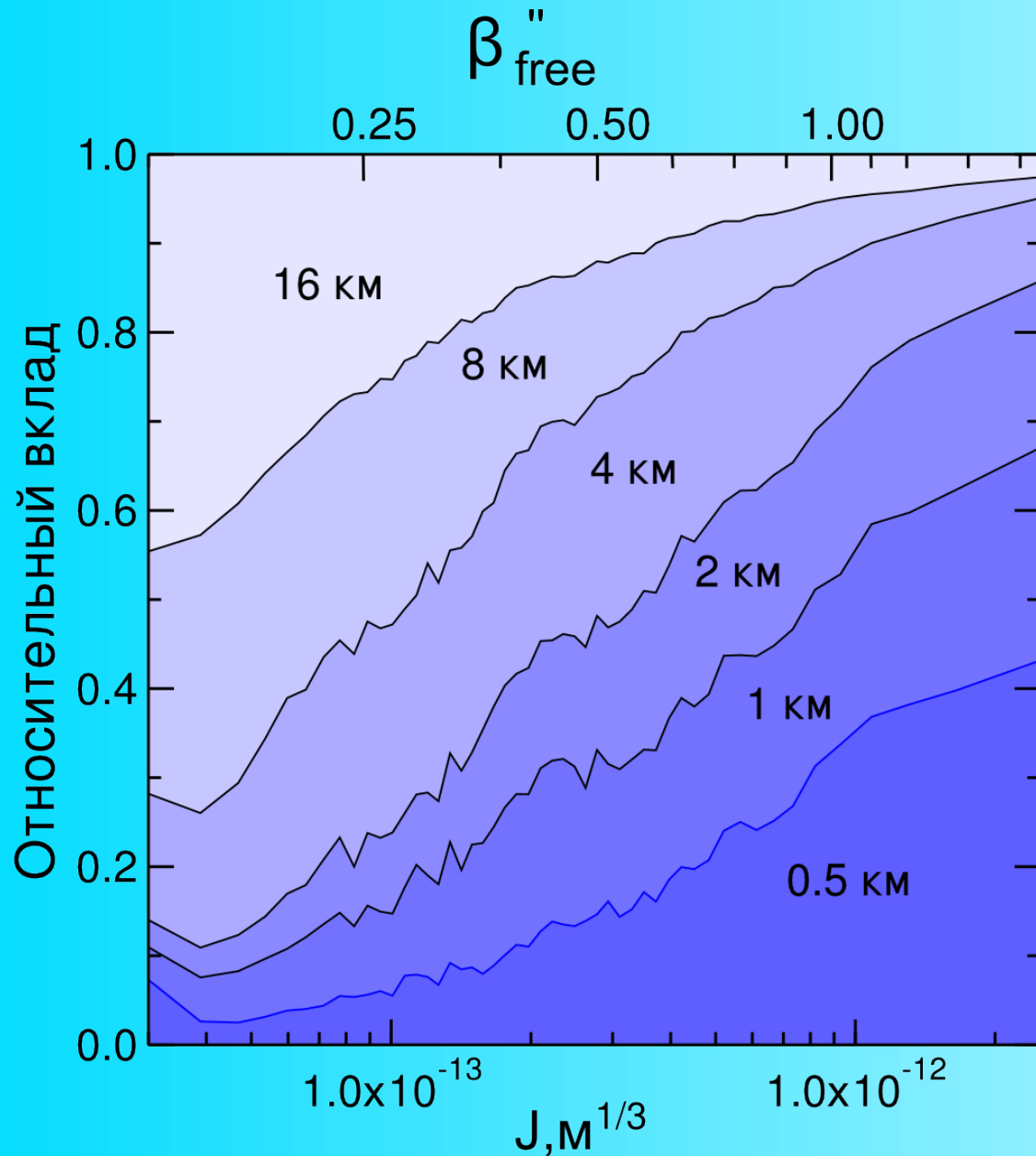


Изопланатический угол θ_0 определяет коррелированность искажений плоской волны в разных направлениях. Медиана: **2.02''**

Изокинетический угол θ_K – аналогичен изопланатическому, но рассматриваются только наклоны волнового фронта. Медиана: **6.74''**

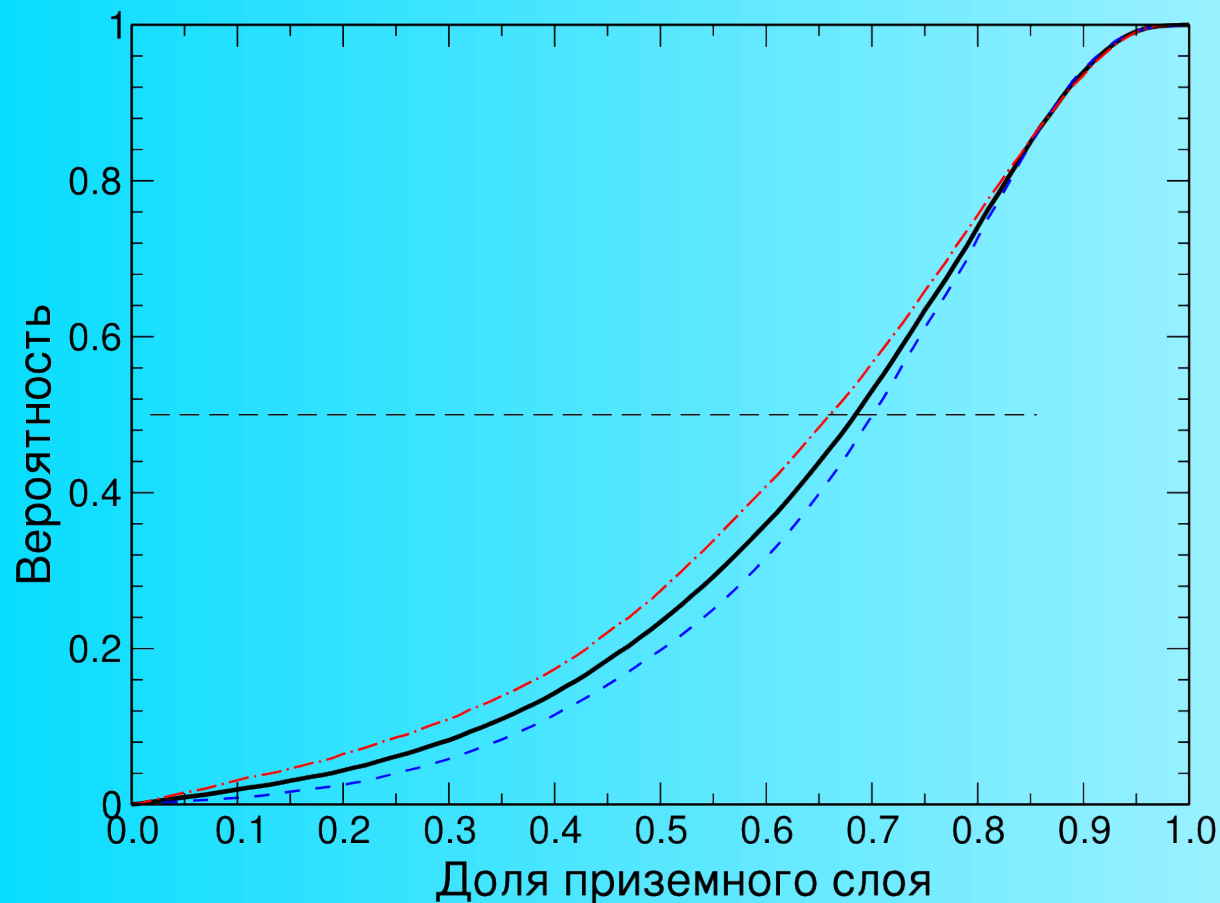
Время атмосферной когерентности τ_0 определяет неизменность искажений фронта во времени. Медианное значение: **1.93 мс**

Структура свободной атмосферы



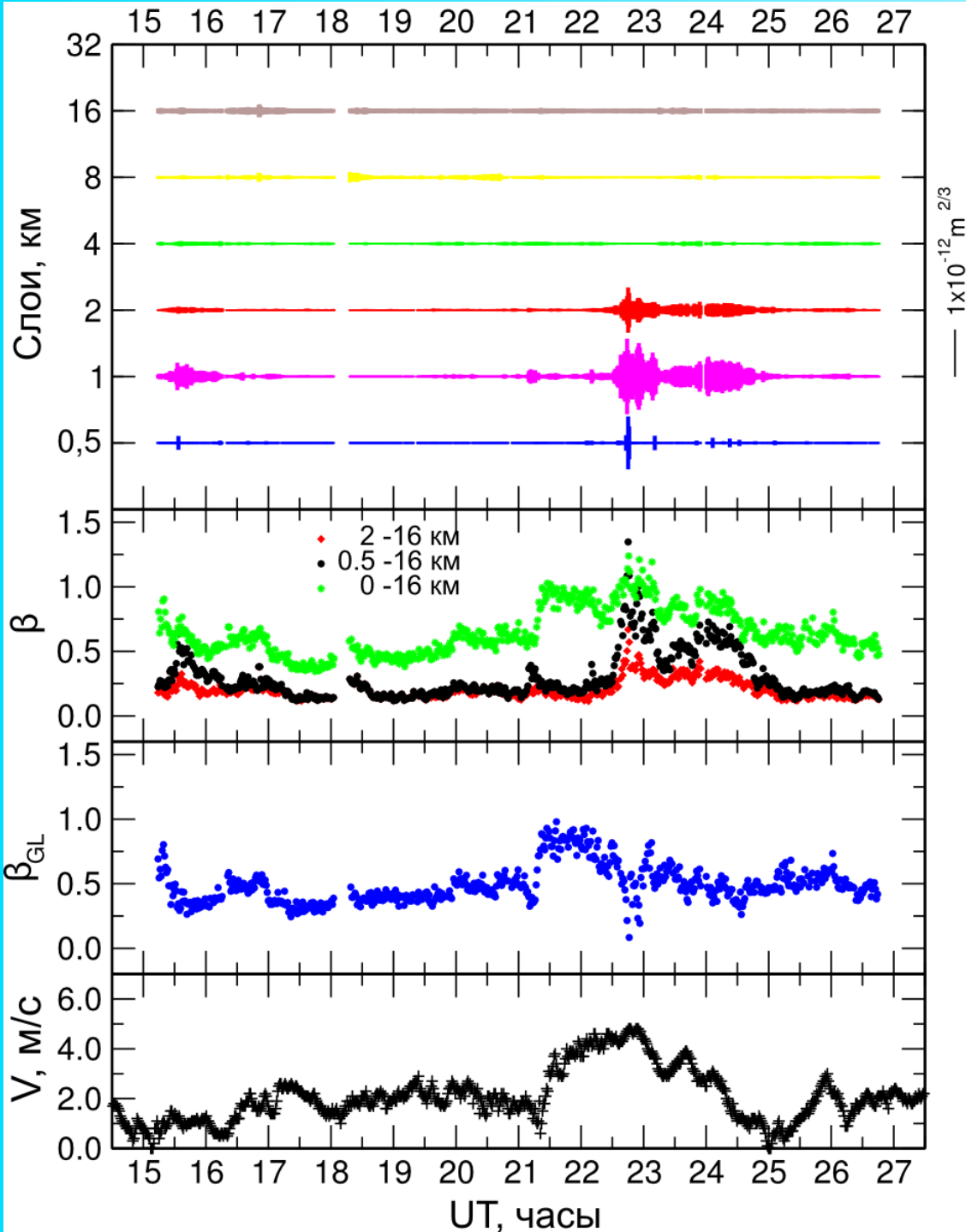
Зависимость относительной доли турбулентных слоев от полной интенсивности турбулентности в свободной атмосфере. Видно, что при слабой общей турбулентности доминирует 16-км слой, при сильной – доминирует пограничный слой 0.5 км

Приземный слой



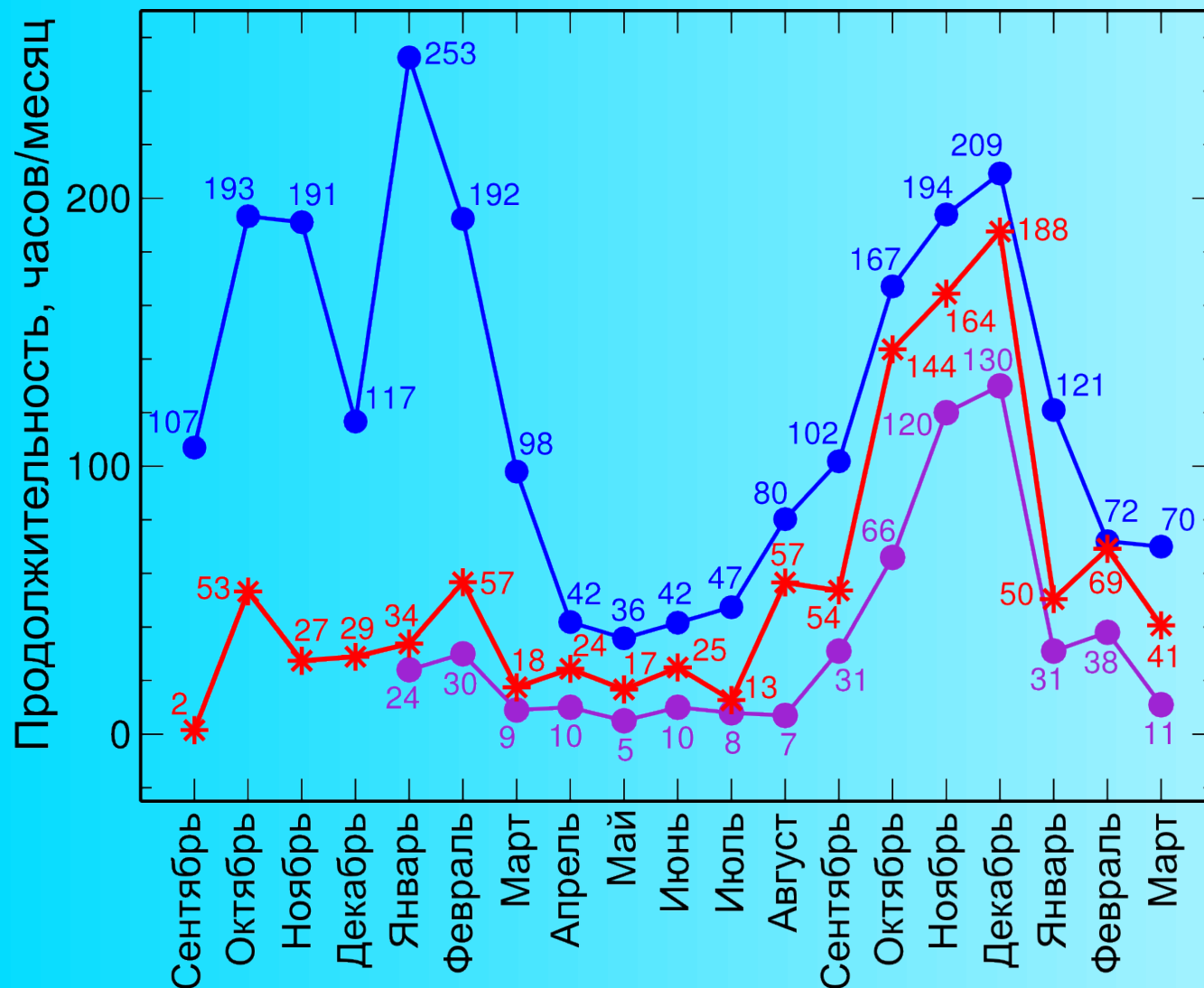
Кумулятивная вероятность вклада приземного слоя в полное качество изображения. Красная и синяя кривые – для плохих и хороших изображений. Медианное значение доли приземного слоя составляет **0.68**

Приземный слой



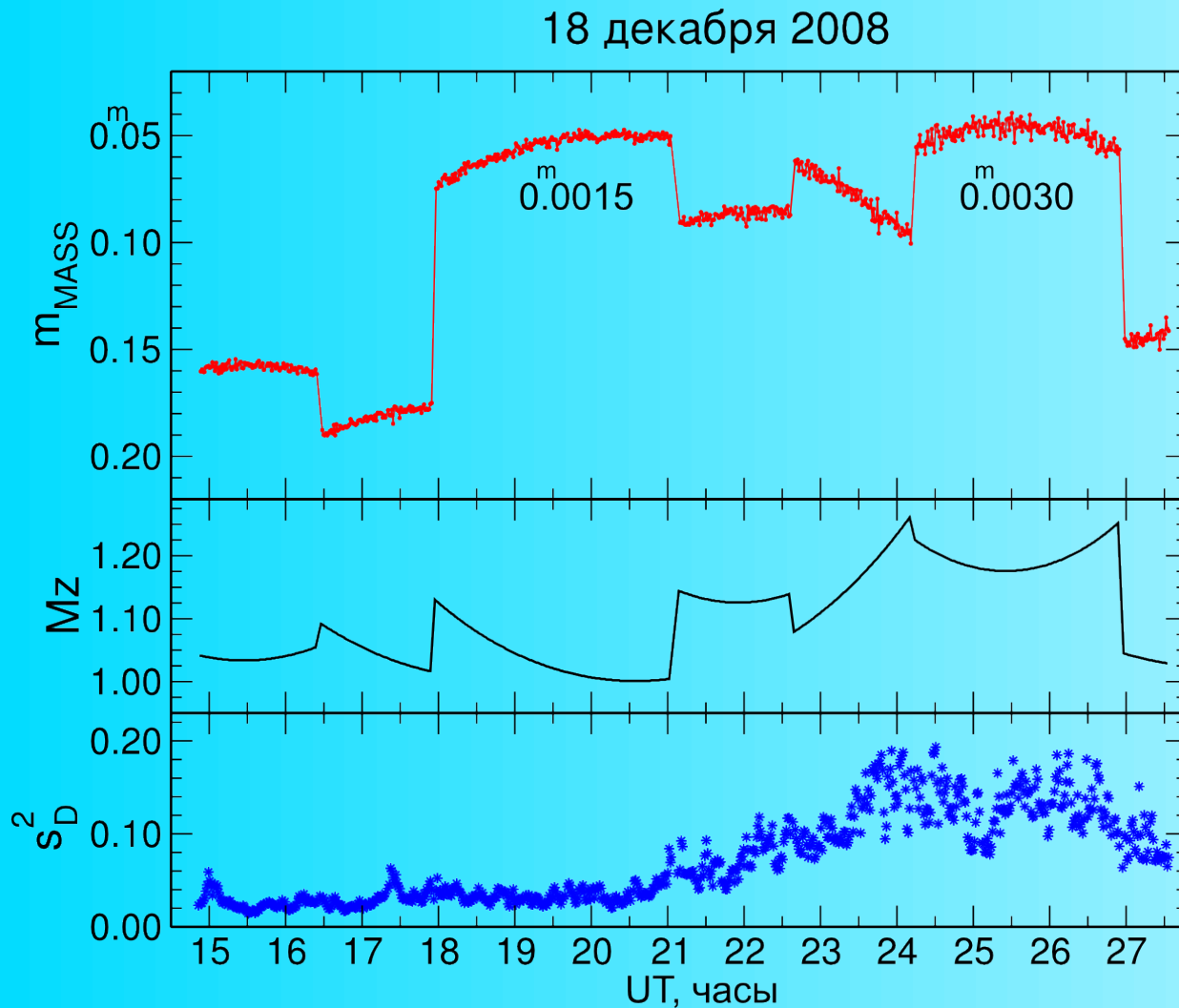
Пример эволюции мощности приземного слоя в течение ночи (синие точки), определенной по данным DIMM и MASS. Видно, что всплеск мощности связан с усилением скорости приземного ветра. В свободной атмосфере это проявилось через 1.5 часа (конечно, если эти явления связаны)

Фотометрические свойства астроклимата



Красная кривая – полное время измерений в месяц, фиолетовая – время, пригодное для фотометрических измерений. За период 1 января 2008 по 1 апреля 2009 – **512 часов**. Доля фотометрического времени – **56%**

Пример хорошей фотометрической ночи



Красные точки – инструментальные величины в D канале MASS с 1 мин. усреднением. Синие – индекс мерцаний в том же канале.

Для этой ночи коэффициент экстинкции равен $0^{\text{m}}.18$ ($\lambda_{\text{eff}} \approx 4700\text{\AA}$)

Разброс полностью объясняется низкочастотными мерцаниями. При $D \gg r_F$ справедливо

$$\sigma_I = C \cdot M_z^{7/4} \cdot D^{-2/3} \cdot t^{-1/2}$$

Выводы по результатам 18-ти месячных наблюдений

- Уточнена предварительная оценка полного качества изображения на горе Шатджатмаз. Медианное значение за период составляет **0"99**.
- Уточнены оценки интенсивности оптической турбулентности в свободной атмосфере. Медианное значение качества изображения в свободной атмосфере: **0"54**.
- Подтверждены основные метео-характеристики места, отмечена низкая медианная скорость ветра: **2.3 м/с**
- Астроклиматические характеристики места сравнимы с тем, что имеется для таких обсерваторий как Серро Тололо и Ла Силлья, уступая им по количеству ясной погоды и высоте
- Для получения более достоверной статистики нужно еще наблюдать минимум 2 летних и 1 зимний сезон

Планы на ближайшее будущее

- Поддержка системы в рабочем состоянии, для чего может понадобится модернизация электроники телескопа
- Исследование возможности измерения количества воды на луче зрения и получения более подробных данных об облачности
- Обеспечение обработки в реальном времени, изменение организации доступа к данным измерений, подключение к штатной метеостанции
- К зиме 2010 перевод астроклиматического монитора в статус инструмента для оперативного управления программами наблюдений на 2.5 м телескопе



Kinzhal

Bermamyt

KGO

© 2009 Basarsoft
© 2009 Geocentre Consulting
© 2009 Europa Technologies
Image © 2009 TerraMetrics

© 2009 Google

41°19'38.85" 41°05'02.74" -1210.

33742.