

Новый 2,5-метровый телескоп КГО ГАИШ: первые результаты

Белинский А.А., Возякова О.В., Горбунов И.А., Додин А.А., Корнилов В.Г., Корнилов М.В., Ламзин С.А., Маланчев К.А., Наджип А.Э., Потанин С.А., Сафонов Б.С., Татарников А.М., Черепашук А.М., Черясов Д.М., Шатский Н.И.

Astrofest-2015

Кавказская горная обсерватория ГАИШ: краткая история создания

Причина создания: потеря наблюдательных баз в странах бСССР, общий упадок материальной базы астрономии, необходимость практического обучения студентов

Поис
Зака
Набл
Изг
Аст
Стр
Мон
Уста
«Пе



013

а систем
и откр



Основные задачи КГО: наука и обучение

Учебная задача: участие студентов и аспирантов астрономического отделения физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова в научных работах с целью подготовки высококвалифицированных специалистов: курсовые и дипломные работы, учебная практика, удалённые наблюдения.

Научные задачи:

- .Звёздная фотометрия** объектов Галактики и ближайших галактик (нормальные и пекулярные звёзды, рентгеновские двойные, новоподобные и взрывные переменные, и др.);
- .Поверхностная фотометрия галактик** (исследования областей звездообразования, спиральной структуры и др.).
- .Наземная поддержка** российских и международных космических программ (проекты РАДИОАСТРОН, Спектр-РГ, Спектр-УФ, МИЛЛИМЕТРОН, GAIA, Nustar и др.)
- .Спектроскопия низкого разрешения** нестационарных объектов Галактики, активных ядер других галактик, скоплений галактик, оптических транзиентов, астероидов и др.

Основные задачи КГО (продолжение)

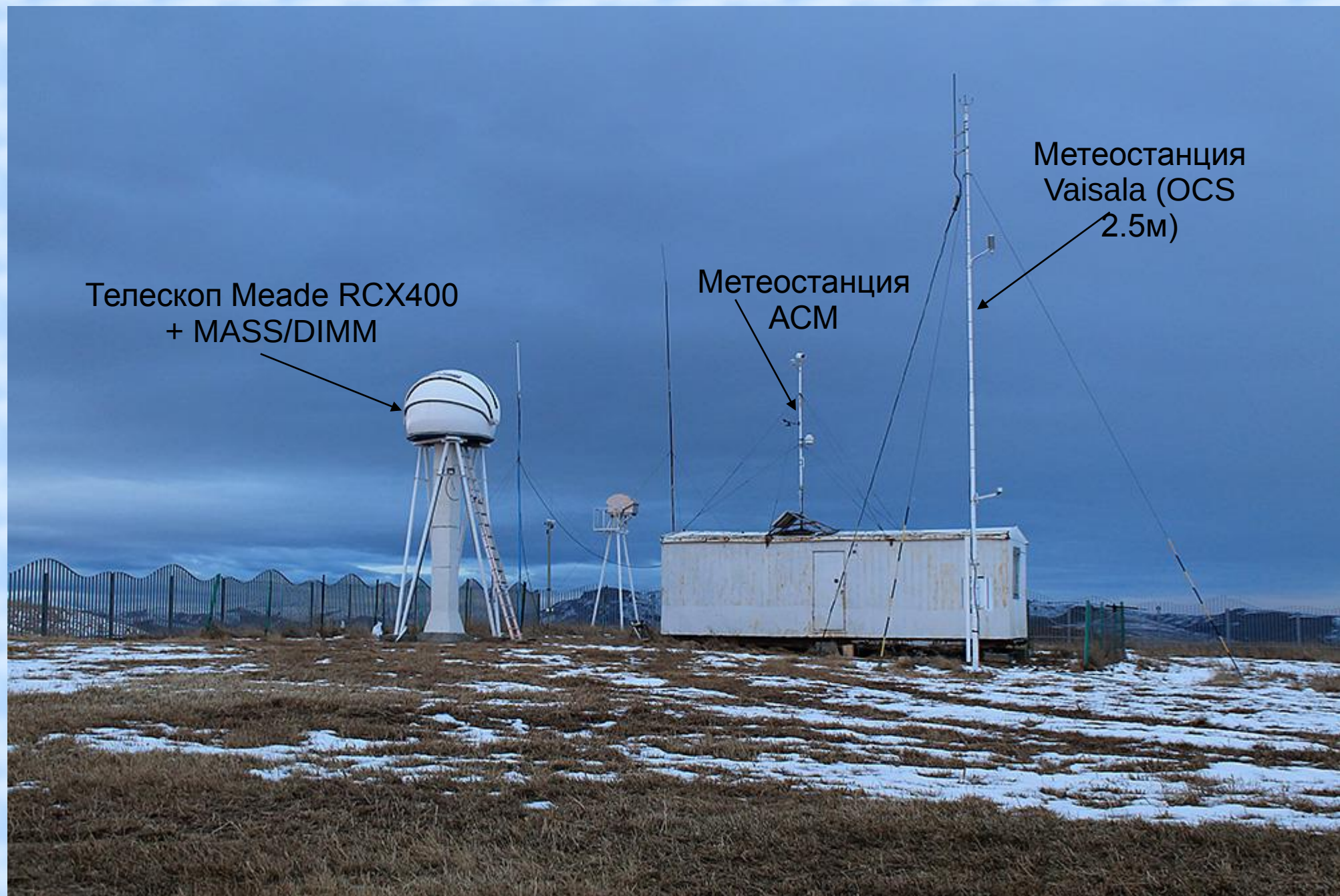
- . Инфракрасная фотометрия и спектроскопия** звёзд до Главной последовательности, звёзд на поздних стадиях эволюции, др. объектов;
- . Оптическая спектроскопия высокого разрешения:** химическое строение звёзд, измерение лучевых скоростей компонентов кратных систем, исследование профилей линий нестационарных объектов, исследования экзопланет, исследование внутренней структуры звёзд;
- . Поляриметрические исследования** молодых звёзд и околозвёздного вещества в дисках и оболочках, исследования межзвёздной пыли;
- . Исследования с высоким угловым разрешением** (тесные двойные системы, активные ядра галактик): спекл-интерферометрия, адаптивная оптика, спектроастрометрия
- . Исследования в области геодинамики, гравиметрии,**
- . Прикладные исследования** (ИСЗ, астероидная опасность, лазерная дальнометрия)

КГО: основные данные места

- *Расположение обсерватории: N43°44', E42°40', г. Шатджатмаз, 2112м н.у.м., альпийские луга. 25км (40мин) от г. Кисловодск на юг. Более высокие горы в радиусе <20км отсутствуют.*
- *Среднегодовая температура +2°C, размах температур ясных ночей от +18 до -17°C. Контраст дневных-ночных температур <5°C. Ветер в ясные ночи: 2.3м/с (медиана; с ЮВ и З).*
- *Относительная влажность: лето ~80%, зима ~65%. PVW=7.8мм (медиана для ясных ночей).*



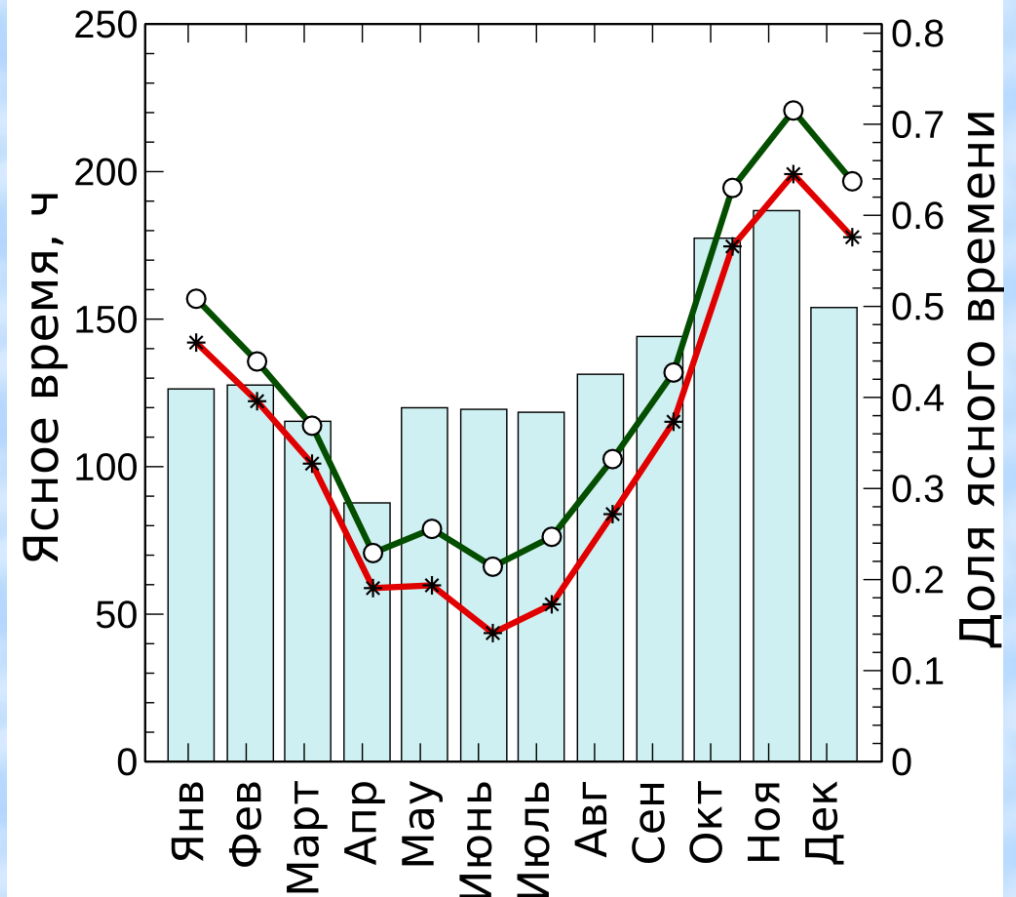
Астроклиматический пост КГО (2014)



Статистика ясного ночного времени

Данные по облачности получены с ИК радиометром (Kislovodsk MASTER Boltwood cloud sensor, порог $\Delta T = -21^\circ$). Среднегодовое количество ясного ночного времени ~ 1330 ч (45%). Доля фотометрических ночей составляет $\sim 50\%$ от ясных.

Яркость ночного неба оценивалась по данным MASS и составляет в среднем 21.0 ± 0.3 вел/кв.сек (полоса V).



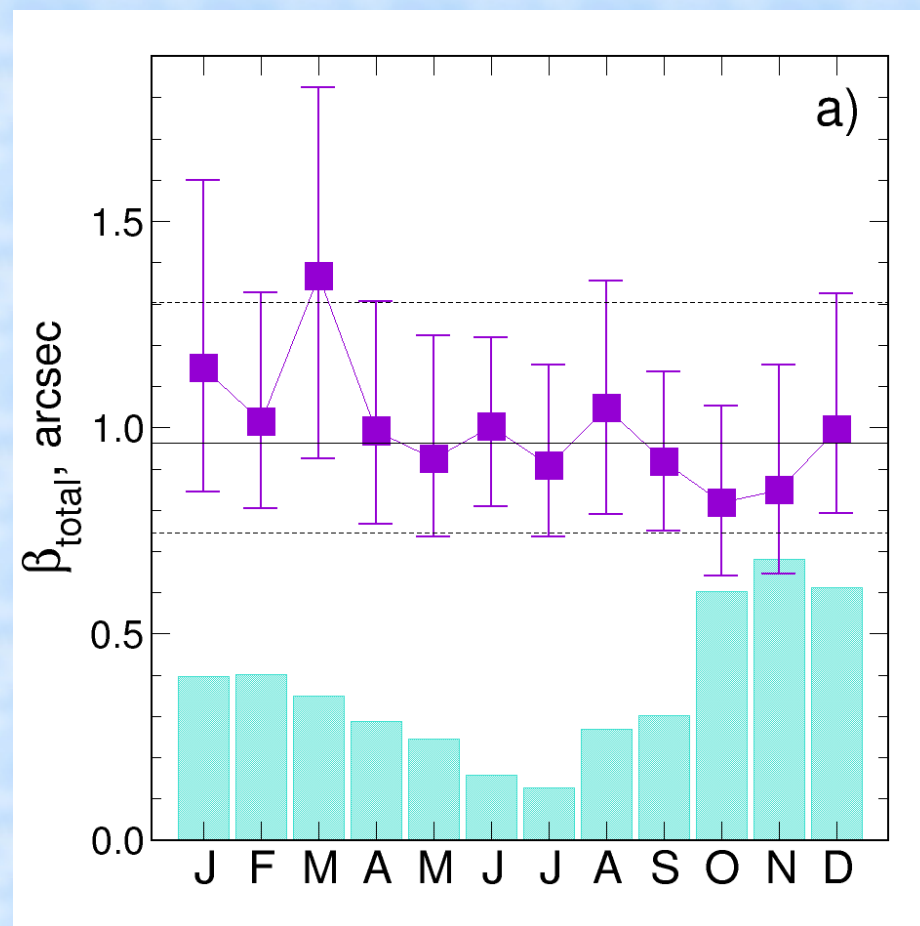
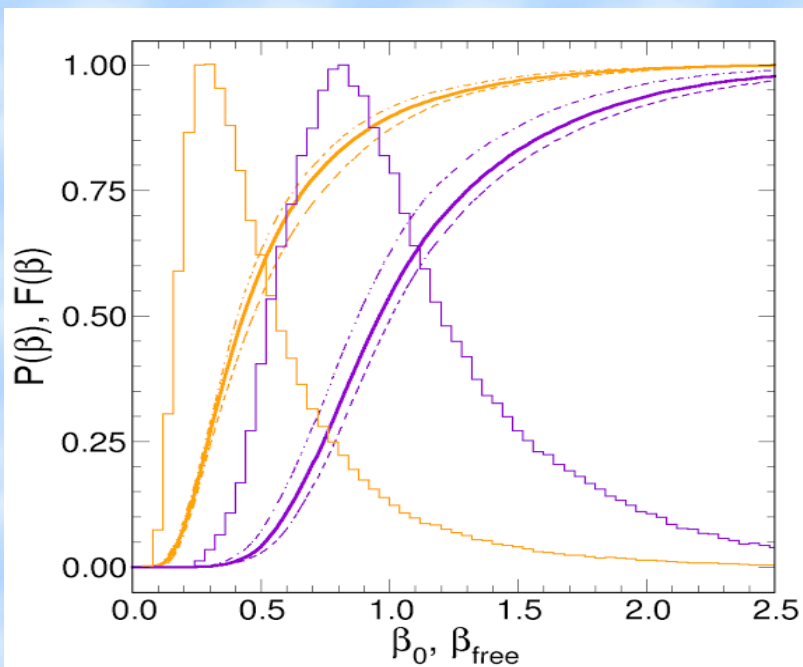
Среднемесячное количество ясного астрономического (—*—) и навигационного (—o—) неба. Серая гистограмма — среднемесячная доля ясного ночного неба, шкала справа. (Kornilov et al, 2014, XI/2006-V/2013)

← Засветка с севера со стороны КавМинВод



Статистика качества изображения

Поведение качества изображения по месяцам (2007-2013; медианы и квартили распределений). Гистограмма: вклад в общий объём данных. Медианное качество изображений – **0.96"**; наиболее вероятное – 0.81". Мартовский «отскок» связан с ветрами в нижней атмосфере.



Общие распределения seeing (— - свободная атмосфера, — - полное): в 10% случаев $\beta_0 < 0.6''$ (чаще наблюдается в X, XI). В это же время наблюдается и пик атмосферного времени когерентности τ_0

Гибкое планирование наблюдений

Выводы из исследований астроклимата КГО:

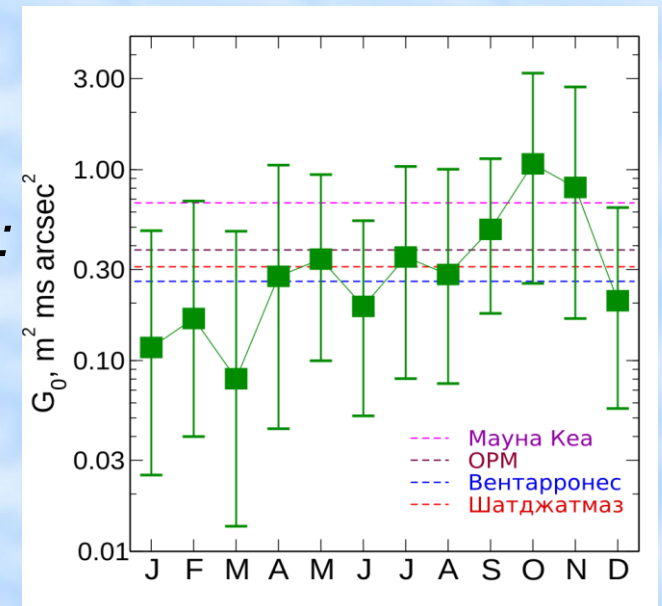
• Распределение ясного ночного времени:
осенне-зимнее: длительность ночи
наибольшая зимой, доля ясной погоды
наибольшая осенью

• Значительные вариации условий как от ночи
к ночи, так и по сезонам

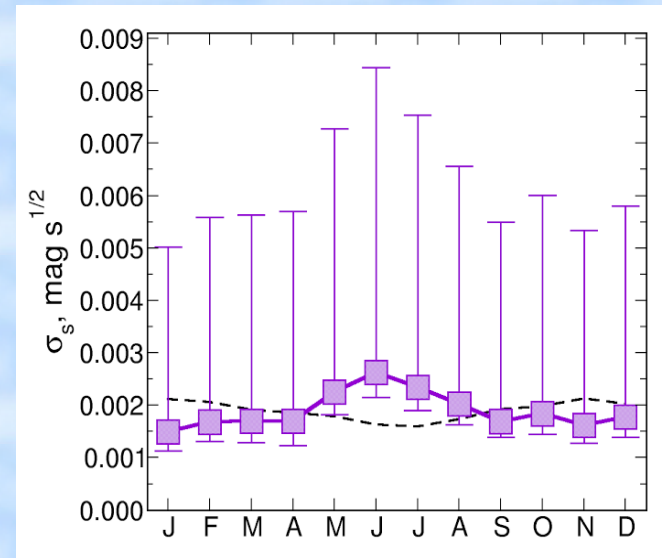
• Возможности по наблюдениям с высоким
угловым разрешением наибольшие осенью. В
неустойчивую погоду они практически
отсутствуют.

• Летняя фотометрия хуже, чем в другие
сезоны.

=> Оптимально использование текущего
ясного времени на наиболее подходящий по
условиям **тип задач**, а не для конкретного
исследователя или программы.



«Фактор когерентности» $G = r_0^2 \tau_0 \theta_0^2$,
отражающий пригодность условий
для работы адаптивной оптики



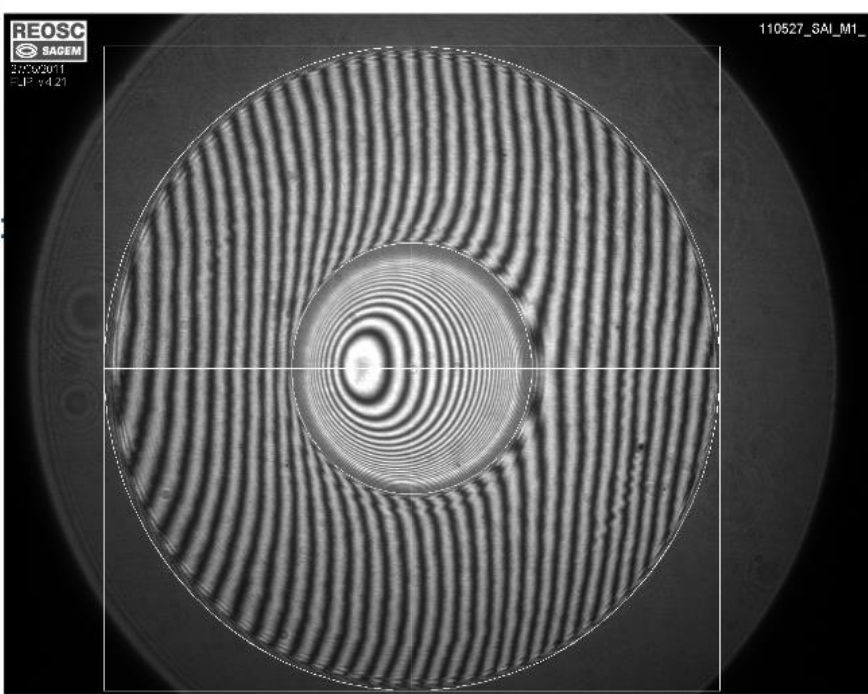
Влияние мерцаний на ошибки
фотометрии (для D=2.5м в усл-х
КГО — и Cerro Paranal ---)

2.5м телескоп: основные характеристики

- **RC**; $D_{св}=2500\text{мм}$, $\eta=0.41$, $F_{экв}=20\text{м}$
- **M1**: Zerodur, $th_{edge}=250\text{мм}$, Оправа: 27 опор + 3 радиальных
- $D_{EE=80\%}=0.3''$. $FOV=40'$ с WFC ($\lambda 0.3-1\mu$)
- **Монтировка**: Alt-Az, direct drive, $3^\circ/\text{сек}$, $\varepsilon_{point}=5''$, $\varepsilon_{track}(10\text{min})=0.2''$
- **Фок. станции**: 1 Кассегрен (C1) + 4 Нэсмит (N1-N4); смена $<2\text{min}$; мех. деротатор и автогид в C1, N1; опт. деротатор в N2.
- **Купол**: щелевой (створки), теплоизол.+А/С+ вытяжная вент-я.
- **Изготовители**: оптика+оправы: SAGEM-REOSC (France); монтировка: Nanjing Inst. Of Astron. Optics & Technology (China); купол: Gambato SAS (Italy).



Некоторые проблемы...

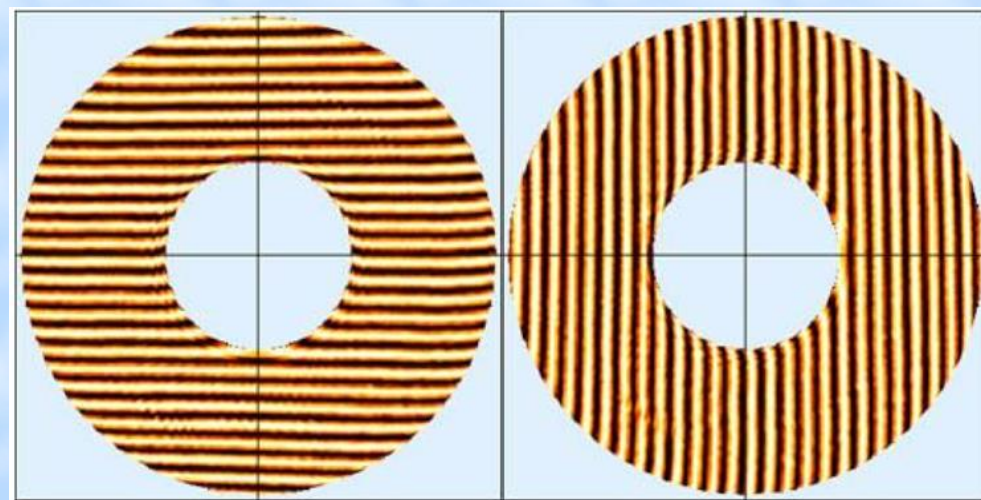


Оптика 2.5м телескопа

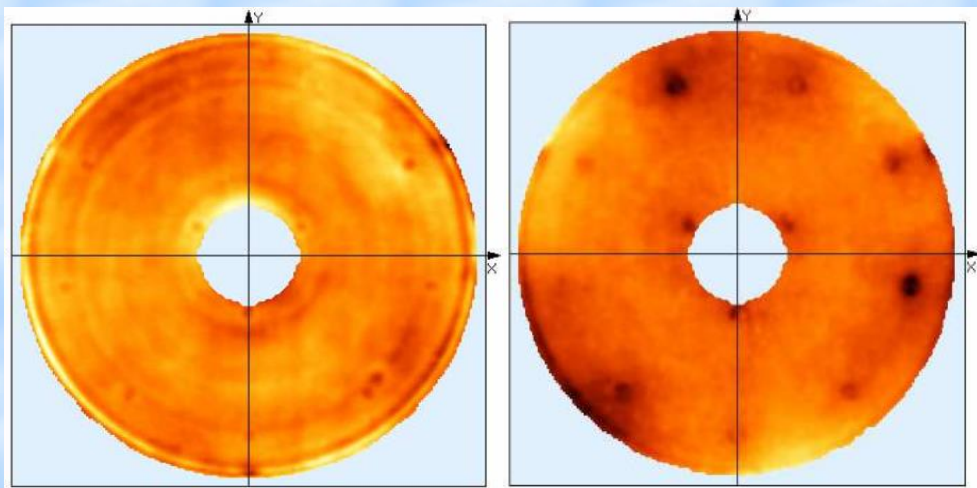
Заводские измерения на момент окончания полировки:

- $M1: RMS=24nm, d(EE80\%)=0.08''$
- $M2: RMS_{surface}=8nm, RMS_{grav}=19nm$
- $M3: RMS=14nm$

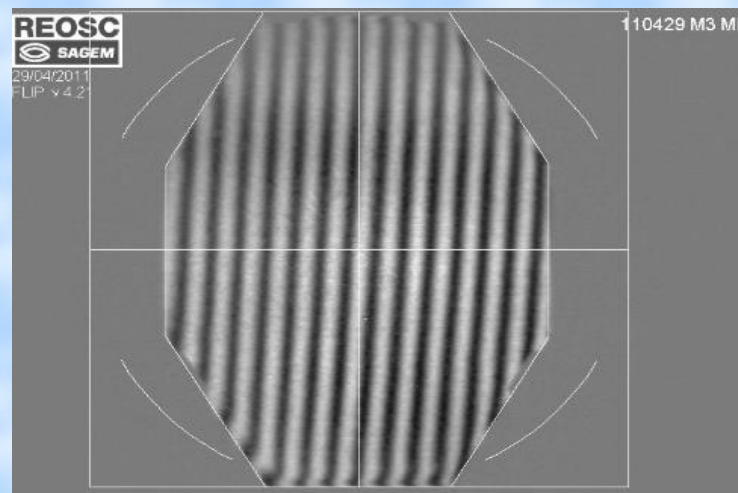
=> спецификации $RMS_{tot}=30nm$ и $d(EE80\%)=0.3''$ выполняются



Интерферограммы M1 (19/09/11)



M2: профиль пов-ти (слева) и "провис" в опрае (справа)
(май 2011)



Интерферограмма M3 (23/04/11)

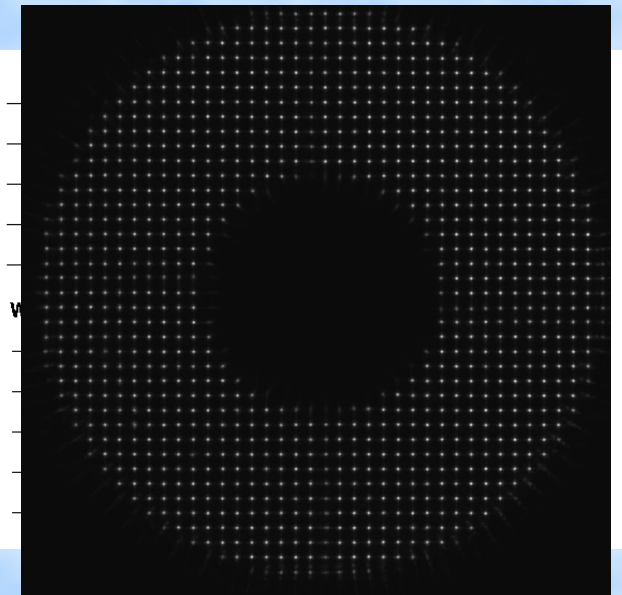
Испытания оптики 2.5м телескопа по звёздам

Согласно контракту, оптическое качество телескопа исследуется после установки и юстировки при помощи датчика Шака-Гартмана ГАИШ (*Potatin, ARep 53, 703, 2009*). Измерения проводятся с ноября 2014г. Аберрации сложным образом зависят от температуры, её производной, зенитного расстояния.

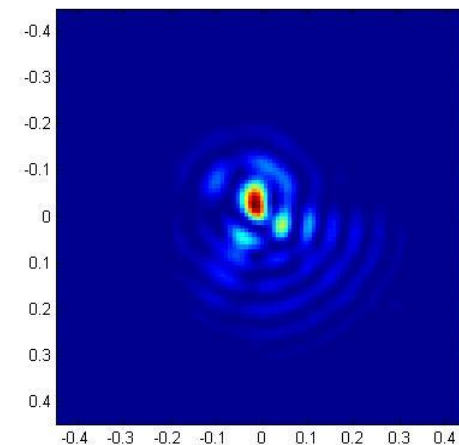
Измеренные значения $d_{EE80\%}=0.37''$,
 $RMS=0.2-0.3 \lambda(100-150nm)$.

Полученные на телескопе прямые изображения 11-23 ноября 2014г имеют FWHM от $0.5''$, что подтверждает хорошее оптическое качество телескопа.

Установить зависимость аберраций от высоты и температуры для достижения спецификации EE80 $0.3''$ пока однозначно не удалось.

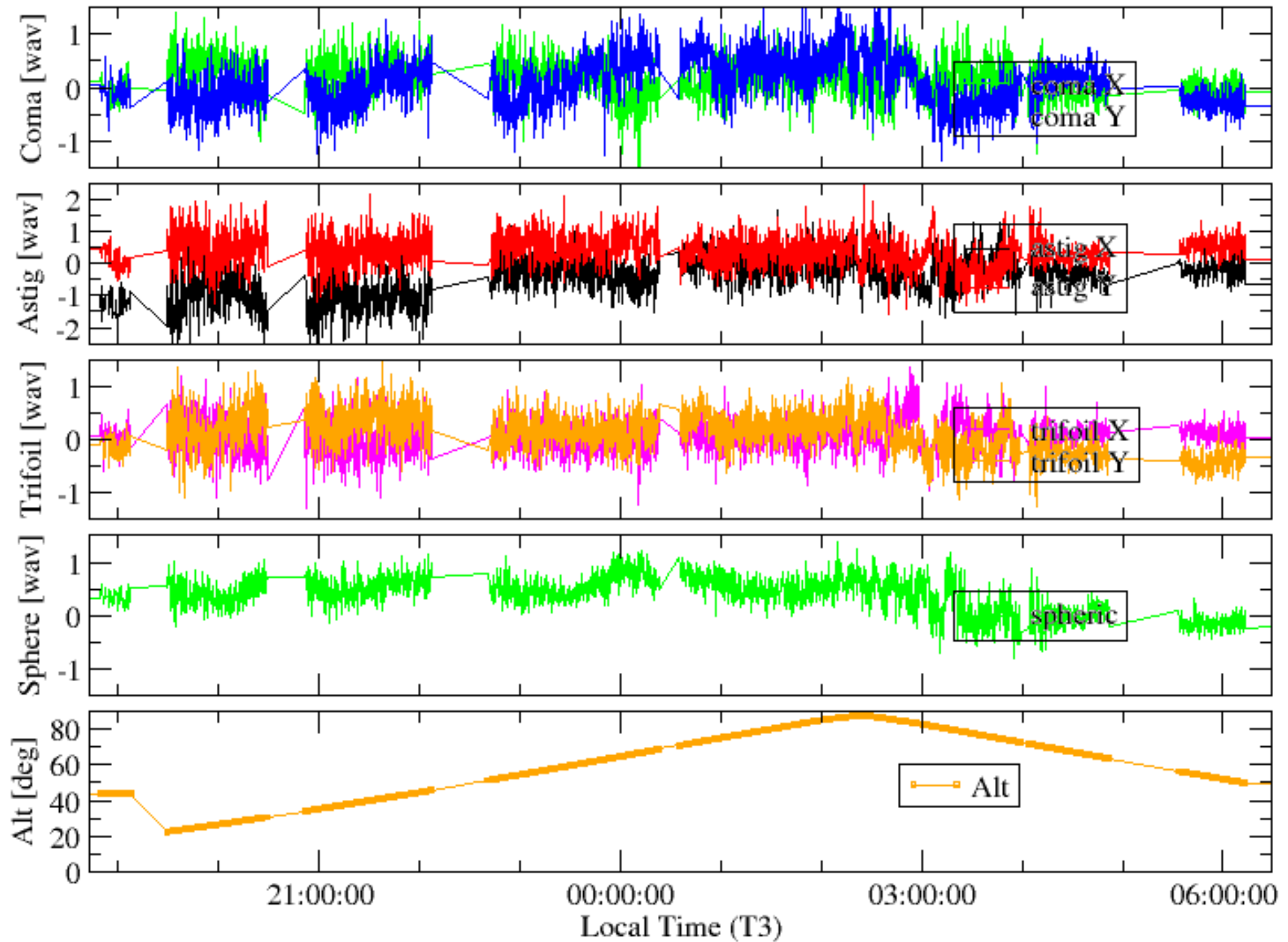


Пример гартманограммы

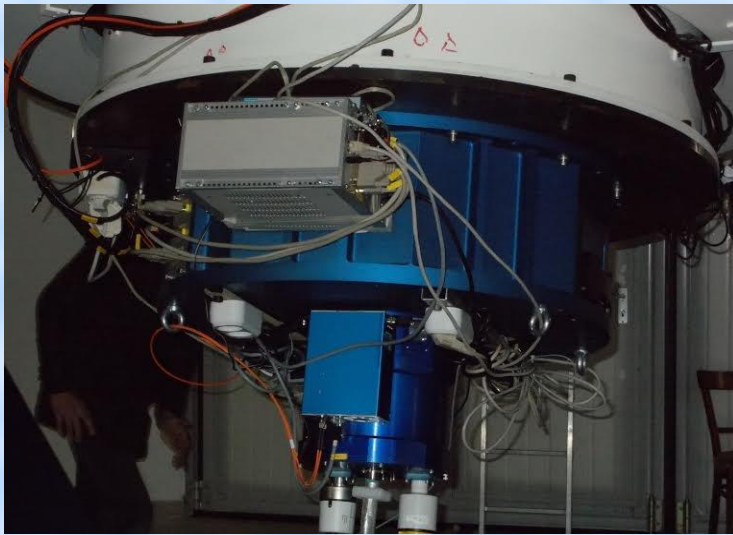


Синтетическая ФРТ
по данным ШГ 08/12/14

Пример измерений с датчиком ШГ: Alp Aur 07 ноября 2014г



Оснащение 2.5м: ПЗС-фотометрия (прямые изобр.)



Прямые изображения с 2.5м телескопом: ПЗС-камеры

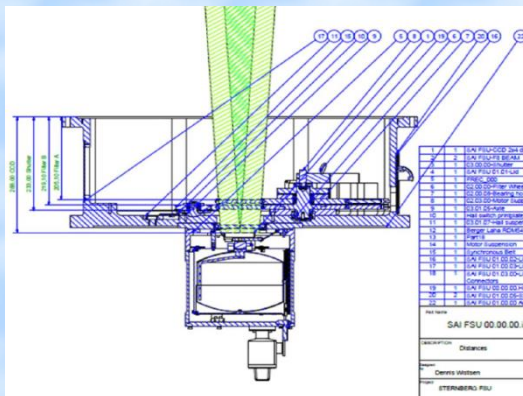
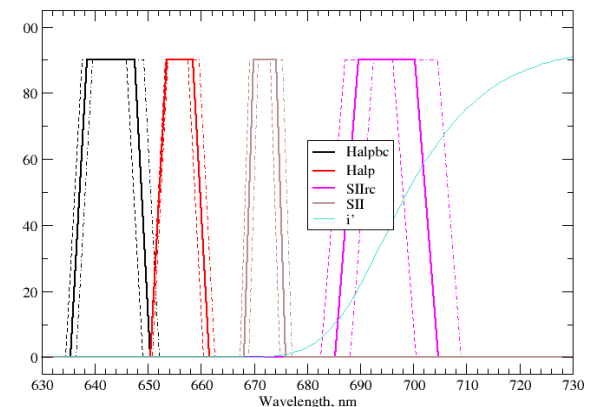
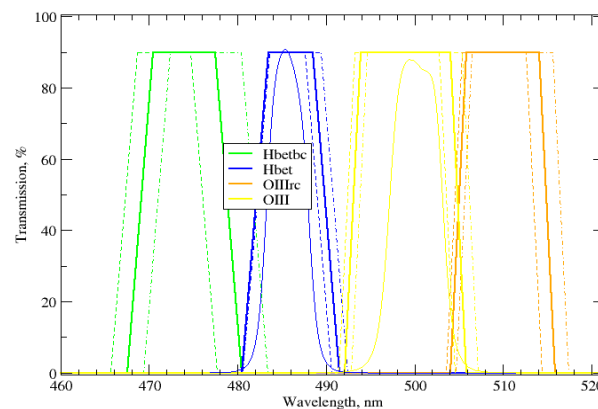
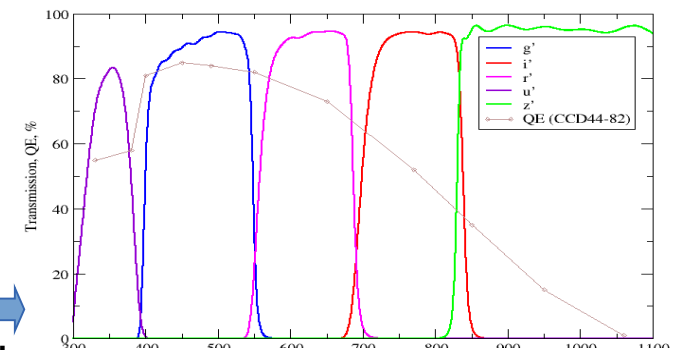
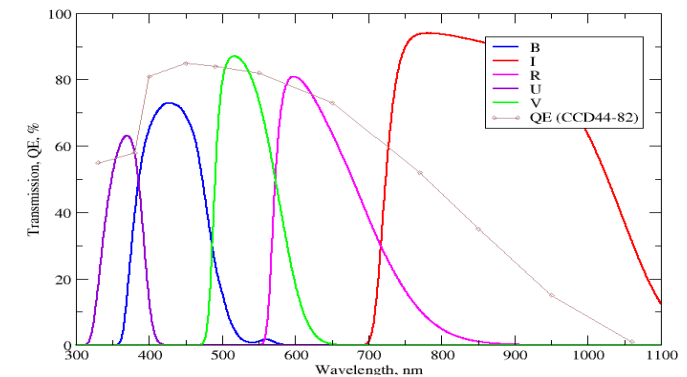
Niels Bohr Inst. (охлаждаемые LN_2):

- Мозаика 2x(2Kx4K) 15 μ : **FOV 10'x10'**
- Камера 2Kx2K 15 μ : **FOV 5'x5'**

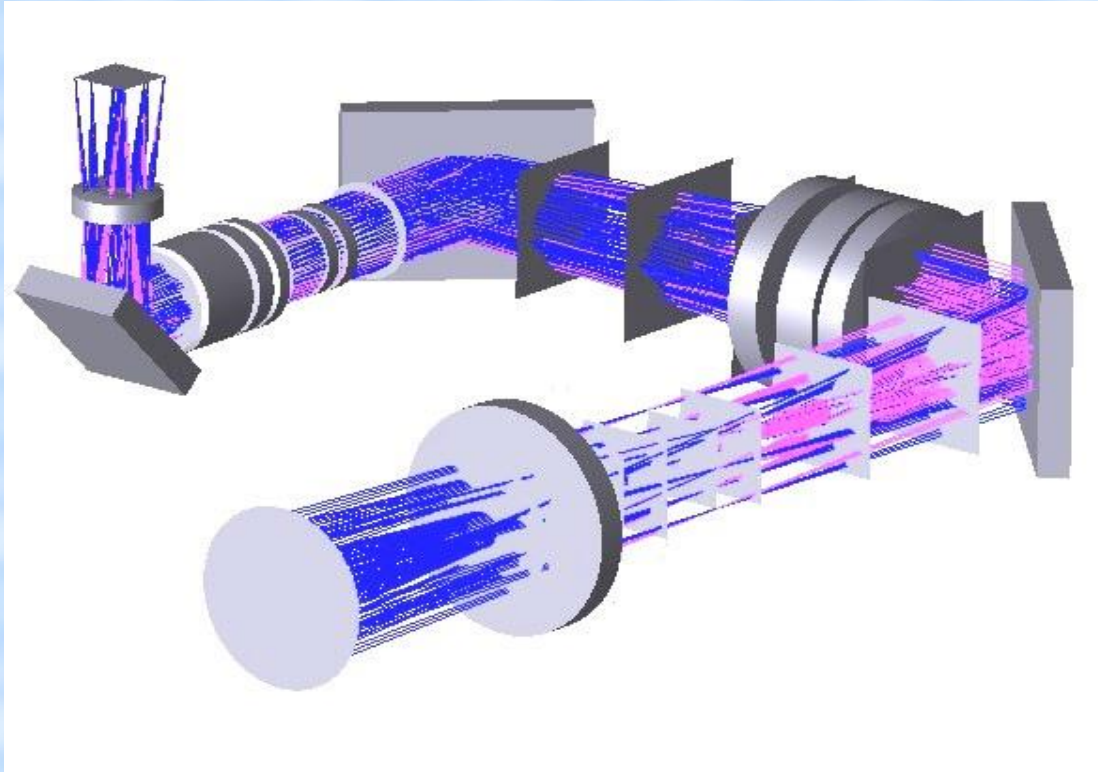
Масштаб 0.15"/pixel. Проблемы 4K: нелин-ть и косметика

Установлен набор 100мм фильтров **UBVRI** и **SDSS**.

Есть и узкополосные $\text{H}\delta$ 4861, OII 3727, $[\text{OIII}]$ 5007...



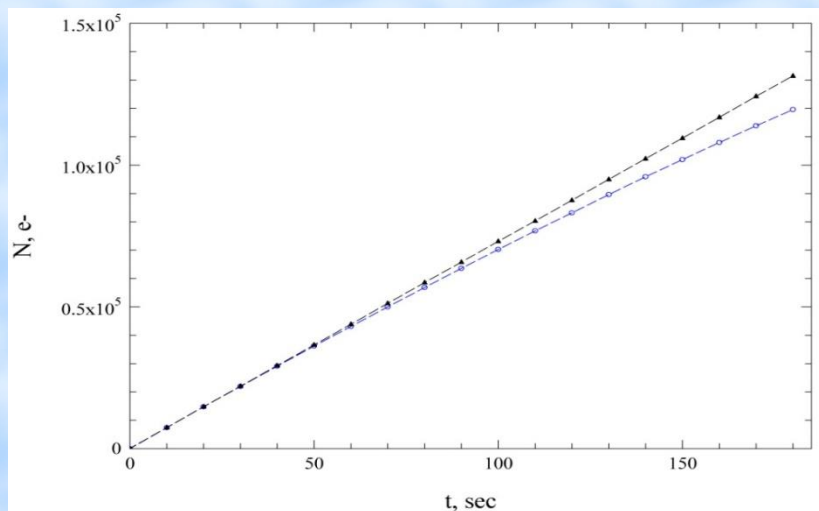
Astronircam: инфракрасный фотометр-спектрометр



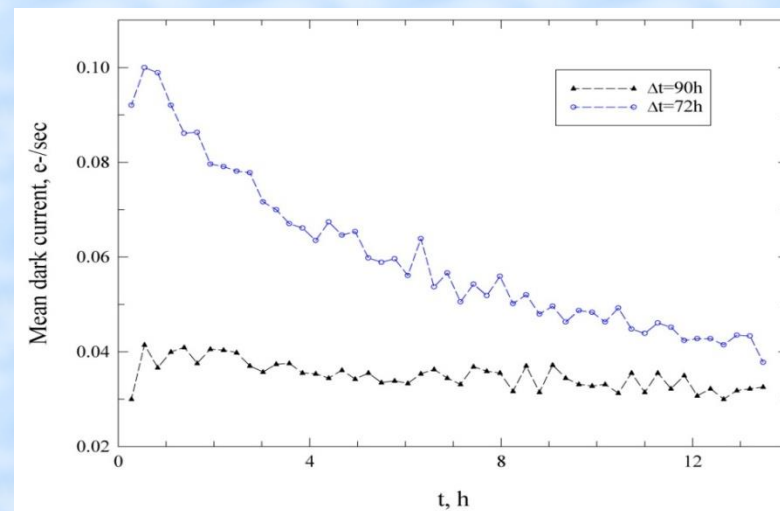
Прибор предназначен для прямых снимков небесных тел или их спектров в ближнем ИК-диапазоне (0,9 - 2,5 мкм). Изготовлен *Mauna Kea Infrared, LLC (Hawaii, USA)* на основе детектора Hawaii-2RG формата 2Kx2K (*Teledyne Sci & Im, USA*).

Astronircam охлаждается жидким азотом (раб. темп-ра детектора ~80 K). В спектральном режиме камера имеет несколько сменных щелей (ширина от 1" до 10", длина до 300") и разрешение до $R=1550$ (для щели 0.9"). В фотометрическом режиме используется центральная область детектора размером 1024x1024 элементов. Поле зрения камеры 281", масштаб изображения 0.28"/pix. Камера имеет 12 сменных охлаждаемых фильтров: J, H, Ks, H2, Br Gamma, Kcont, CO, FeII, CH4 on, CH4 off, polarizer 0°, polarizer 90°.

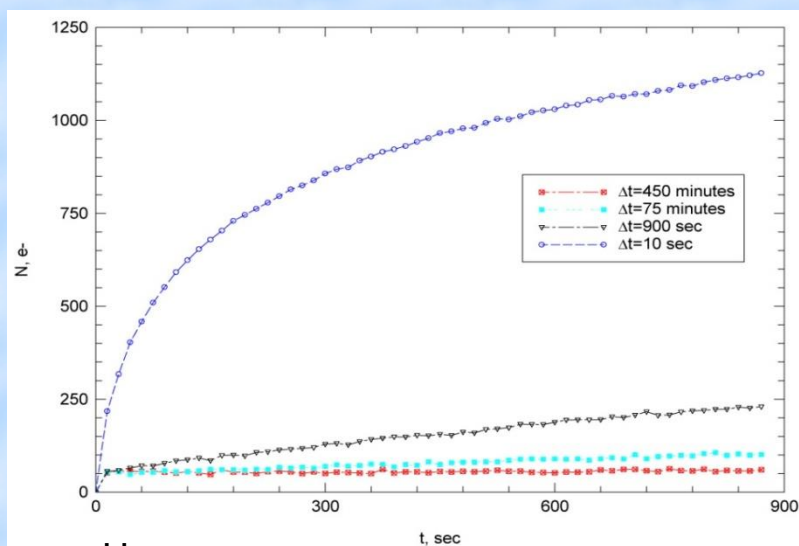
Исследования характеристик детектора Astronircam



Нелинейность приемника $\sim 10\%$ при накоплении 1.2×10^5 электронов (90% полной емкости ячейки).



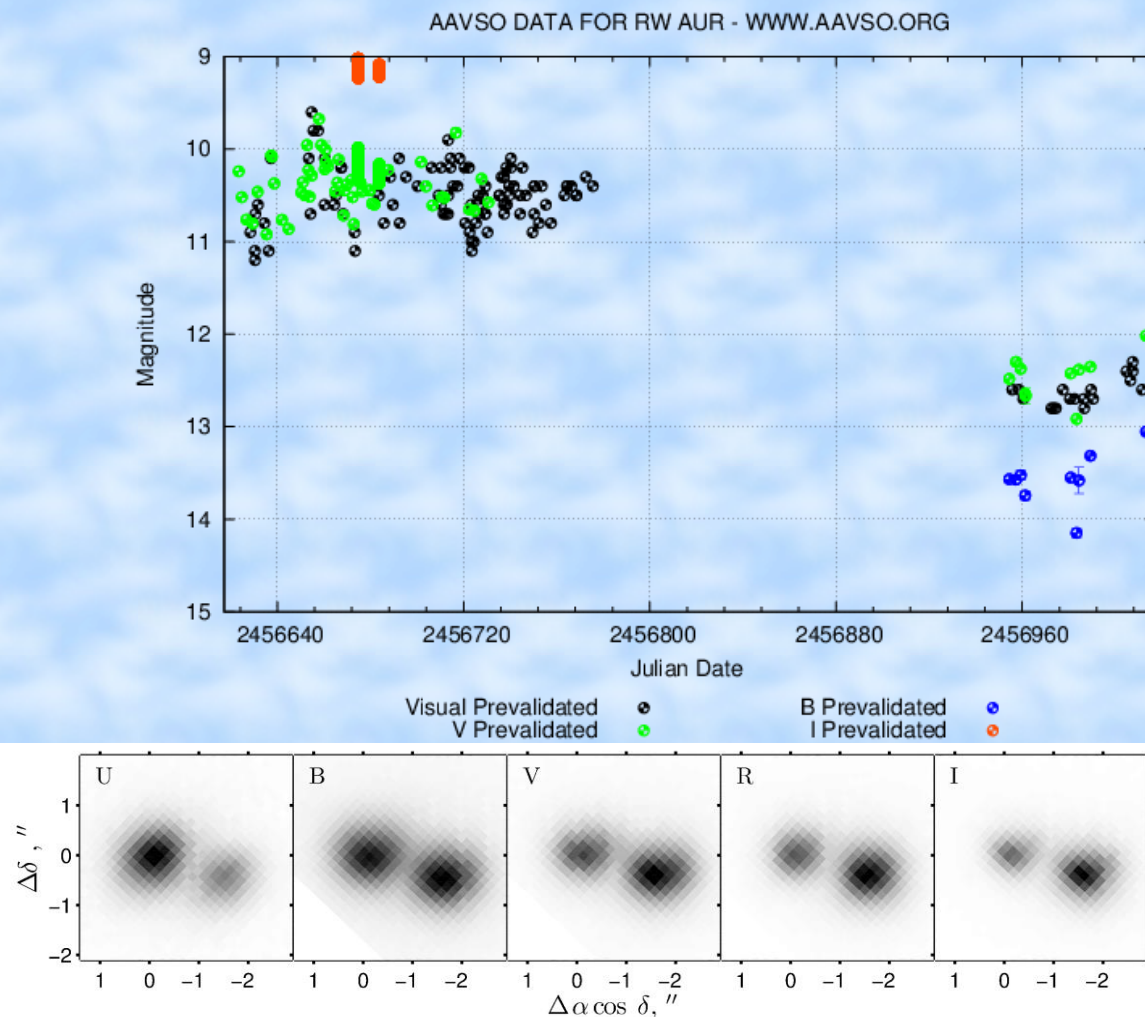
Изменение среднего по детектору значения темнового тока спустя время Δt после первой заливки жидкого азота



Накопление сигнала «послесвечения» (persistence) спустя время Δt после засветки детектора до 130% от полной емкости ячеек

Детектор камеры имеет низкий темновой ток $\sim 0.04 e^-/s$, шум считывания $\sim 15 e^-$, квант преобразования A/D $2.5 e^-/ADU$, полную емкость ячейки $\sim 150000 e^-$ и работает в двух режимах считывания - неразрушающее считывание (RAMP) и двойной коррелированной выборки (Double Correlated Sampling).

Первые тестовые наблюдения и научные результаты (ноябрь 2014)



Слева: группа галактик «Квинтет Стефана». Справа: изображения компонентов A и B двойной системы RW Aur ($\square=1''.45$), полученные в системе UBVRI (**FWHM** $0''.5-0''.8$). В начале координат каждого изображения – компонент RW Aur A (Antipin et al, IBVS 6126, 2015).

MainWindow

State Idle Initial Ready Point Track Stop UPS Maintain Mode local remote

error limit error error limit error Focal C1 Dome Temperature

AZ TCS M2 Cover limit N1 open Weather Alarm

ALT Hand M3 Guide error N2 close

Dero Hydro AGU

Emergency

Stop Start

☒ Auto monitor Weather Station

☒ Auto slew Dome

☒ Auto monitor UPS

☒ Auto monitor Temperature

☐ Auto adjust M2_alt

☐ Auto Adjust m2 temperature

☒ Auto log temperature

Connect state

Dome Mount FOCUS and AGU AGU CCD CCD UPS Temperature Enviroment Weather Station Air Condition

OCS Config Subsystem Config Edit Command SendCommand Log ConfigFlow User Initialization Change password Check About

Main Mount Dero M2 M3 Agu Cover Guide Ups Temp CCD Message Error Simulation Dome WeatherStation Instrument Plan

Time

Local Time 2014-11-10 18:42:40 UTC Time 2014-11-10 15:42:40

Star Table (J2000)

chose star star table

Begin Time 2014-11-10 17:38:00 End Time 2014-11-10 17:38:00

Create track file Send track file

RA DEC

Track

Mode ☒ Az ☒ Alt

☒ C1 ☐ N1 ☐ N2 ☐ no

Start Stop Get Pos

Star name M103

Mount Control

Az set (deg) Alt set (deg)

Speed ("/s)

☐ H ☒ M ☐ L

Az point Alt point Az stop Alt stop AZ park ALT park

Mount Position

Az 38.870551 Alt 56.933565 Dero 25.034439

Derotator Control

Dero set (deg)

mode Speed

☒ C1 ☐ H ☐ N1 ☒ M ☐ N2 ☐ L

Point Stop Park

Guide

Open Close

Auto Guide

Avg time(s) Guide time(s) Exp time(us)

Hydro oil pad control

Run Stop

Mode select

Stop All

Maintain mode Local mode

Time	Send Command	State	Time	Send Command	State	
46	2014-11-10 18:38:17	N1Check	Done	<CmdCUID=2.4.0.1.1.20141110.18		
47	2014-11-10 18:41:26	TrackStop	Done	<CmdCUID=2.6.0.2.1.20141110.18		
48	2014-11-10 18:41:49	TrackStart	Info	<CmdCUID=2.6.0.1.1.20141110.18		
49	2014-11-10 18:42:29	dome_slew	Start	<CmdCUID=7.1.0.1.6.20141110.18		
50	2014-11-10 18:42:34	dome_slew	Done	<CmdCUID=7.1.0.1.6.20141110.18		
51	2014-11-10 18:42:39	dome_slew	Start	<CmdCUID=7.1.0.1.6.20141110.18		

Skip Redo Delete all

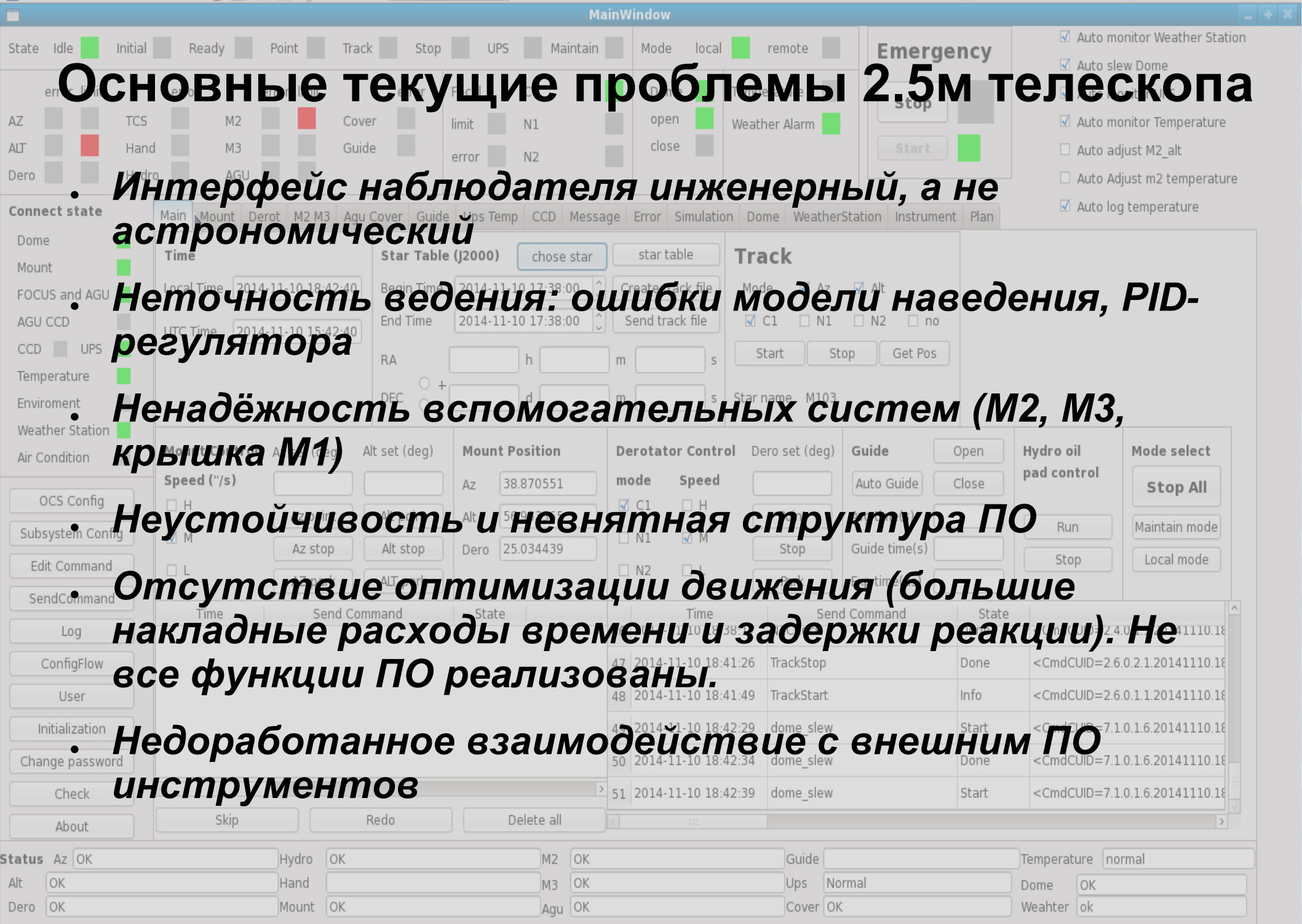
Status

Az OK Hydro OK M2 OK Guide Temperature normal

Alt OK Hand M3 OK Ups Normal Dome OK

Dero OK Mount OK Agu OK Cover OK Weahter ok

Observatory
Control System:
интерфейс
наблюдателя



Основные текущие проблемы 2.5м телескопа

- Интерфейс наблюдателя инженерный, а не астрономический
- Неточность ведения: ошибки модели наведения, PID-регулятора
- Ненадёжность вспомогательных систем (M2, M3, крышка M1)
- Неустойчивость и невнятная структура ПО
- Отсутствие оптимизации движения (большие накладные расходы времени и задержки реакции). Не все функции ПО реализованы.
- Недоработанное взаимодействие с внешним ПО инструментов

Ближайшие планы

- => первая половина 2015г пройдёт в отладке ПО и решении принципиальных проблем СУ телескопа**
- => май 2015г: запуск Astronircam и продолжение тестовых оптических наблюдений**
- => с июня 2015: пробные наблюдения (поверхн. ф/м галактик, опт. и ИК фотометрия звёзд)**
- => июль 2015: первая практика студентов с наблюдениями на 2.5м**
- => завершение наладки и приёмка телескопа: декабрь 2015**

Благодарим за внимание!

Авторы выражают благодарность сотрудникам ГАИШ, административных и хозяйственных подразделений МГУ, помогавшим в работе (А.А.Павлов, Е.К.Шеффер, Н.А.Новиков, А.Д.Чернин), инженерам и др. сотрудникам КГО и ГАС ГАО РАН (В.А.Сеник, П.В.Кортунов, А.Г.Тлатов, М.Г.Серков и др.).

