

Кейдо Н.А., Хвале́й С.В., Сосе́нко В.А.,  
Хоми́цевич А.Д., Несе́рович Э.И.

Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко  
Белорусского государственного университета

**Создание аппаратно-программного  
комплекса для проверки  
работоспособности оптических датчиков  
космических систем диагностики  
верхних слоев атмосферы**

10-я Всероссийская открытая ежегодная конференция  
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»  
(г. Москва, 12 – 16 ноября 2012 года)

## **Рассматриваются следующие вопросы:**

- **явления, исследуемые спектрофотометрическим и оптико-радиофизическим комплексами;**
- **характеристики аппаратуры;**
- **разработка имитатора космических свечений;**
- **проверка работоспособности аппаратуры на имитаторе космических свечений.**

# Характеристики явлений, связанных с высотными электрическими разрядами

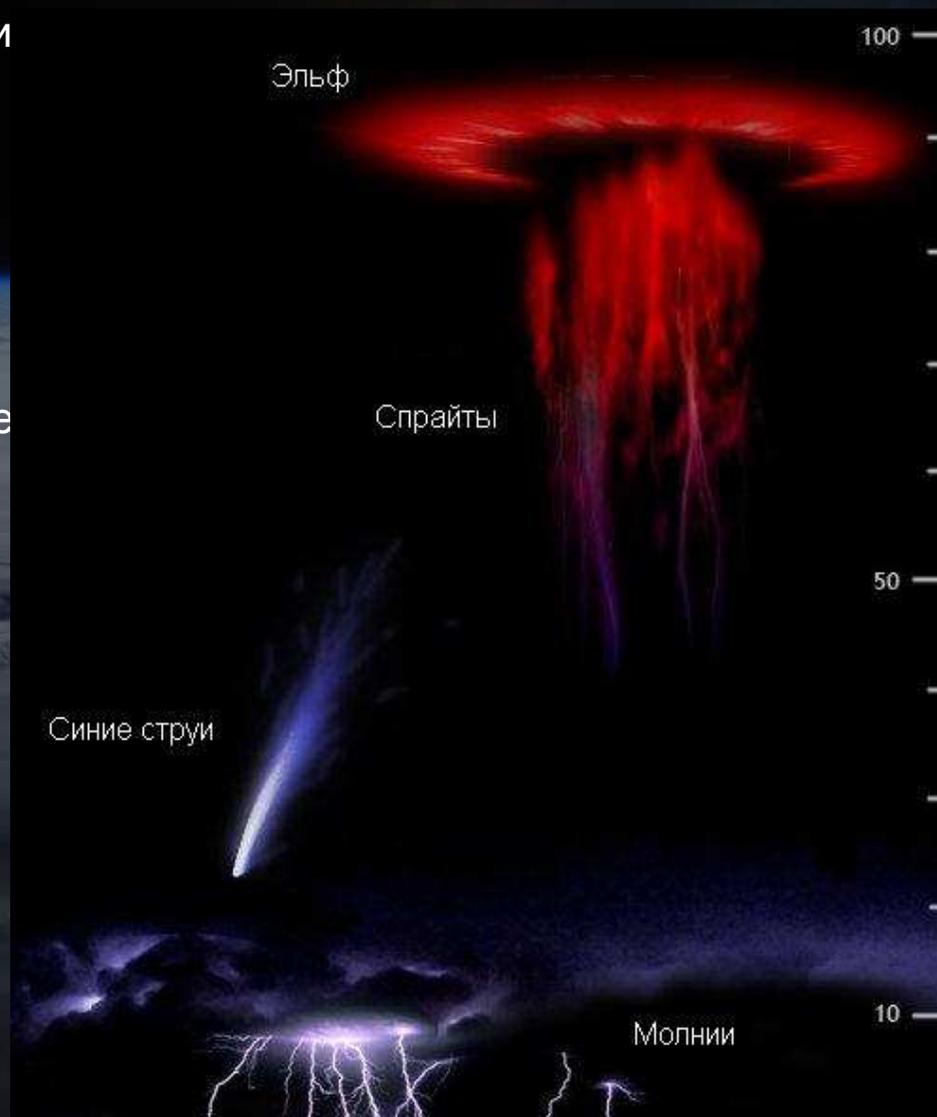
1. Диапазон высот наблюдаемых явлений:  
RS 45–100 км,  
ВJ 20–50 км,  
Эльф 100 км.

2. Габаритные поперечные размеры наблюдаемых явлений:  
RS 20–50 км,  
ВJ 10–20 км,  
Эльф несколько сотен км в диаметре

3. Спектральный состав излучения:  
RS 650–790 нм,  
ВJ 391,4 и 427,8 нм,  
Эльф 700–800 нм.

4. Длительность явлений:  
RS 3–5 мс,  
ВJ 100–200 мс,  
молний  $\leq 2$  мс,  
Эльф менее 1 мс.

5. Энергетическая яркость явлений (интенсивность):  
RS 50 рэлей – 600 килорэлей,  
ВJ несколько сотен килорэлей



(1 рэлей – светимость, при которой столб с основанием 1 см<sup>2</sup> излучает во всех направлениях 10<sup>6</sup> фотонов в 1 с; при  $\lambda = 700$  нм соответствует энергетической светимости  $2,84 \cdot 10^{-9}$  Вт/м<sup>2</sup>)

# Размещение мощных высокочастотных возмутителей ионосферы

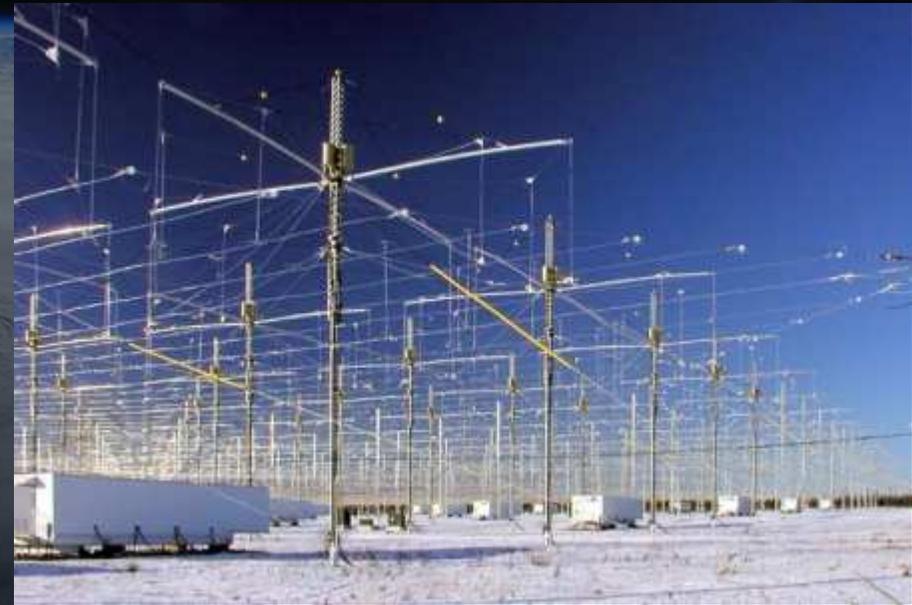


## Зарубежные стенды

Сейчас в мире имеется пять действующих установок: одна в России («Сура» в Васильсурске),  
две в Европе («Тромсо» в Северной Норвегии и SPEAR на Шпицбергене)  
и две в США (HAARP и HIPAS на Аляске)



Вид антенны радара некогерентного рассеяния (430 МГц) в Arecibo (Puerto Rico). Диаметр зеркала антенны 305 м



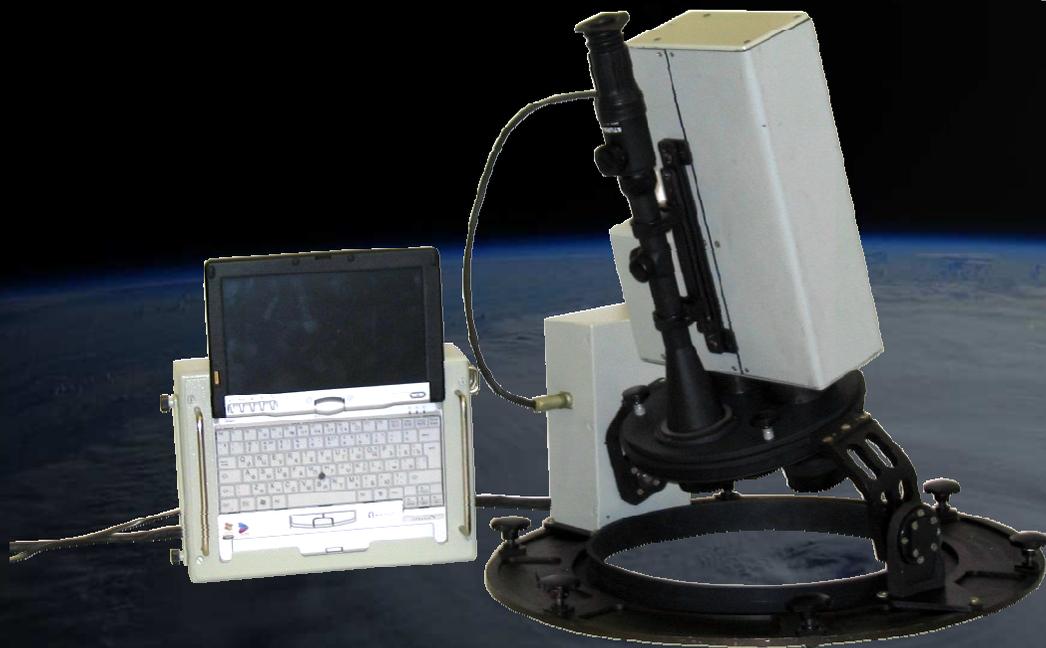
Антенное поле нагревного стенда HAARP в г. Гакона (США, Аляска). Частота излучения 2,8 – 10 МГц. Мощность 1 ГВт

## Нагревной стенд «Сура»



- географические координаты +56°7' СШ +46°2' ЗД;
- мощность – 3 передатчика по 250 кВт;
- частота излучения 4–25 МГц;
- размер антенного поля 300×300 м;
- эффективная мощность излучения 80 – 280 МВт

# Назначение спектрофотометрического комплекса «Гидроксил»



Основные научно-технические задачами КЭ «Гидроксил-МКС»:

- выявление статистически значимых закономерностей долговременной изменчивости гидроксильного излучения в области длин волн 830-1040 нм на высотах 80-93 км и излучения зеленой линии атомарного кислорода ( $\lambda = 557,7$  нм) на высотах 88-105 км, а также их связи со структурными параметрами атмосферы;
- создание эмпирической модели, описывающей распределение интенсивности гидроксильного и кислородного излучений в зависимости от гелио- и геофизических условий;
- разработка методов применения данных по гидроксильным и кислородным эмиссиям для задач прогнозирования землетрясений и предупреждения о чрезвычайных ситуациях, связанных с некоторыми типами природных и техногенных катастроф

# Назначение оптико-радиофизического комплекса

Оптико-радиофизический комплекс разработан научно-исследовательским учреждением «Институт прикладных физических проблем А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета (НИИПФП БГУ) совместно с Учреждение Российской академии наук Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова (ИЗМИРАН).

Он предназначен для

- измерение оптических и плазменных параметров атмосферы и ионосферы в высотном диапазоне 90–400 км, мониторинг их регулярной и неоднородно-волновой структуры (в зависимости от характера и интенсивности различных источников воздействия);
- исследование физических явлений в околоземном космическом пространстве, обусловленных естественными (природными) источниками возмущений и техногенными воздействиями, с акцентом на исследование модификаций атмосферы и ионосферы, вызываемых мощными наземными нагревными стендами;
- отработка технических средств и методов мониторинга околоземного космического пространства, в том числе эффектов глобальных и региональных возмущений параметров атмосферы и ионосферы Земли вследствие природных и техногенных катастроф;
- повышение достоверности прогнозирования природных и чрезвычайных техногенных событий путём интеграции данных космического и наземного сегментов.

# Состав блока оптических датчиков (БОД) ОРФК

**Датчик вертикальных распределений (ДВР)** предназначен для регистрации пространственно-временных распределений эмиссий атомарного кислорода на длинах волн 557,7 нм (на высотах 110–130 км), 630,0 нм (на высотах 290–320 км), азота на длине волны 427,8 нм и во всем спектральном диапазоне чувствительности фотоприемной линейки 0,35–1,05 мкм.

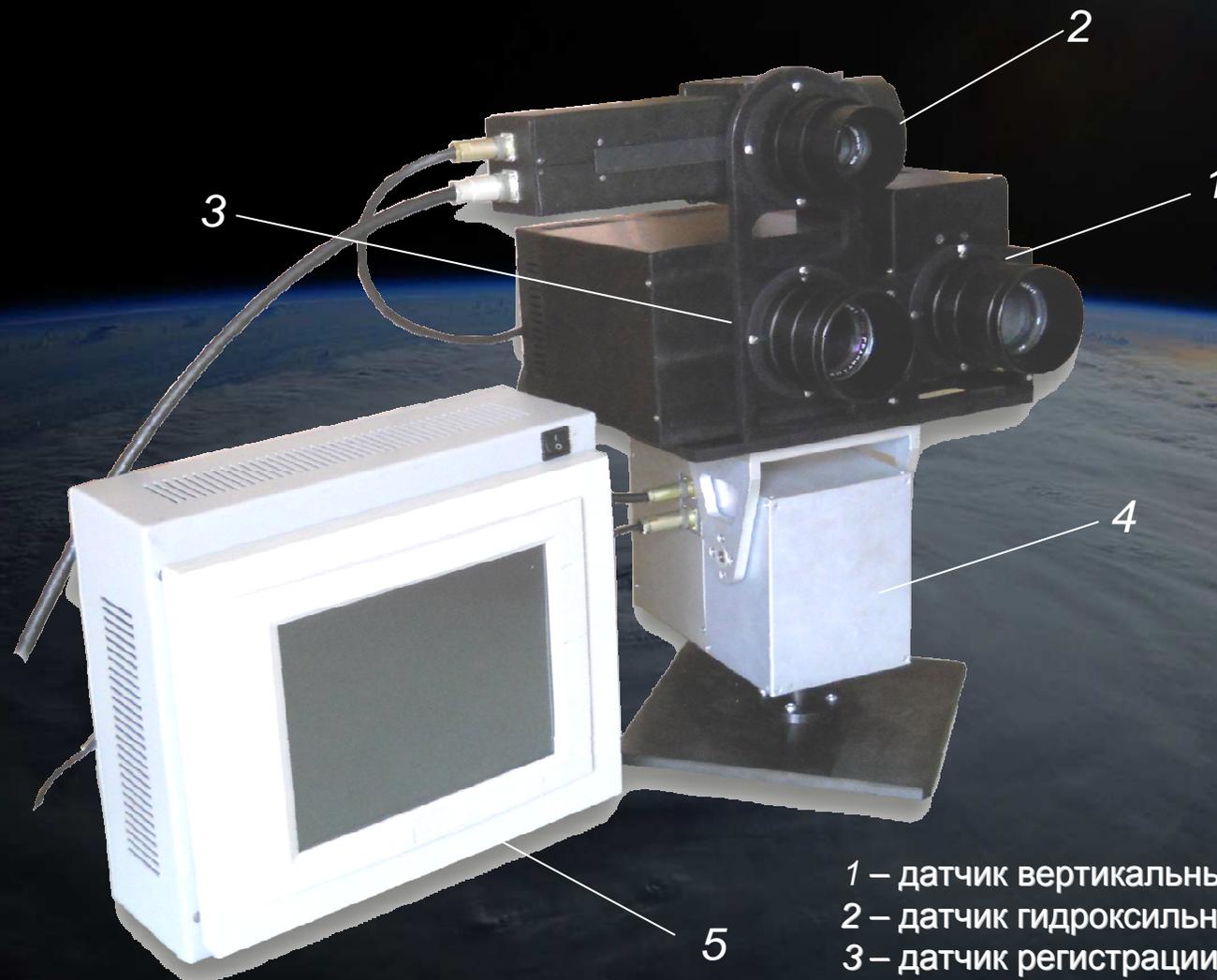
**Датчик регистрации изображений (ДРИ)** предназначен для регистрации спектрально-временных изображений эмиссий в диапазоне 0,35–1,05 мкм с помощью матричного приемника ПЗС с электронным умножением 1000 × 1000 элементов, связанных с высотными электрическими разрядами и воздействием мощных радиоволн на ионосферу в широком диапазоне высот у лимба Земли.

**Датчик гидроксильных свечений (ДГС)** предназначен для регистрации спектрально-временного и пространственного распределения ночных свечений гидроксильных эмиссий и эмиссий, связанных с высотными электрическими разрядами в диапазоне длин волн 350–1040 нм на высотах от 90 до 300 км.

**Система пространственного сканирования (СПС)** предназначена для наведения оптических датчиков на исследуемый объект и удержания его в поле зрения оптических датчиков. Обеспечивает поворот блока оптических датчиков в горизонтальной плоскости на угол 270 град, в вертикальной -  $\pm 45$  град.

**Блок электроники (БЭ)** предназначен для управления датчиками и регистрации данных.

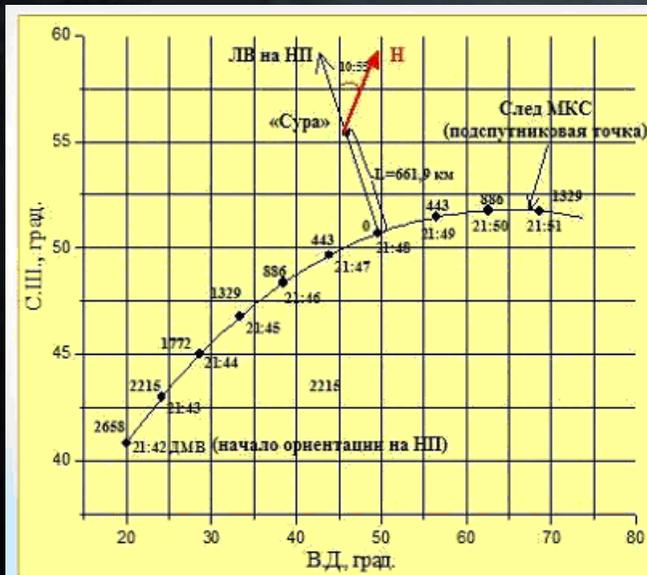
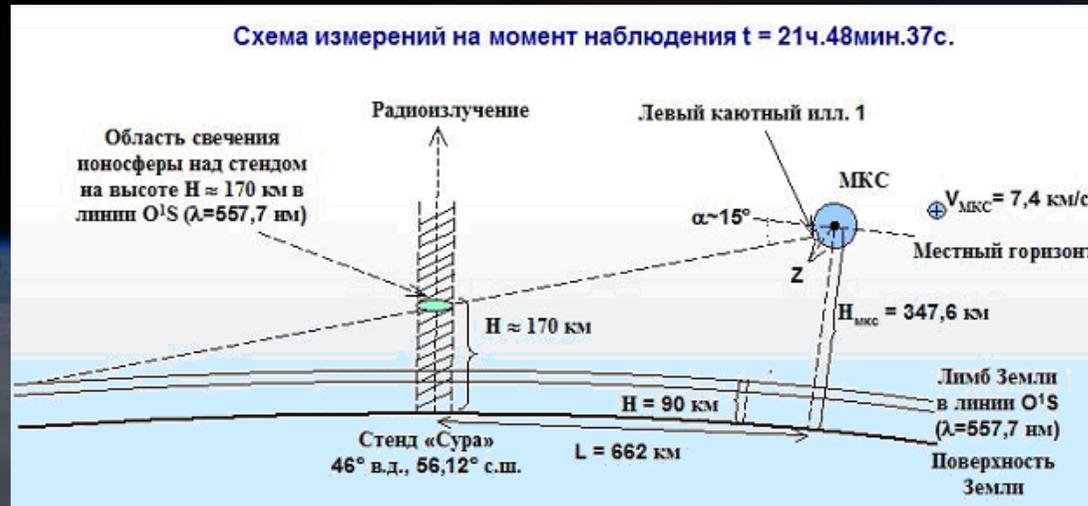
## Экспериментальный образец МО ОРФК



- 1 – датчик вертикальных распределений;
- 2 – датчик гидроксильных свечений;
- 3 – датчик регистрации изображений;
- 4 – система пространственного сканирования;
- 5 – блок электроники

# Схема проведения космического эксперимента «Диагностика»

Геометрия измерений с борта РС МКС свечения ионосферы под воздействием мощного ВЧ-станда «Сура»



Компоненты магнитного поля Земли в ионосфере над Сурой

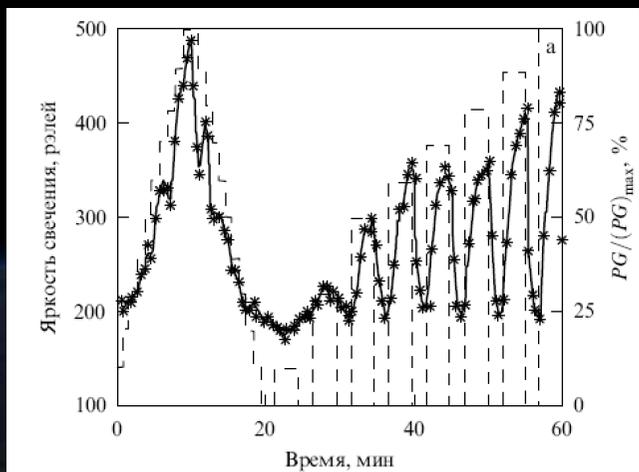
Широта, гр.	56,12 с.ш.
Долгота, гр.	46 в.д.
Высота, км	170
Деклиинация Н, гр:мин.	+10:55
Инклинация, гр:мин.	+71:43
Горизонтальная интенсивность, нТ	15508,2
Северная компонента, нТ	15227,4
Восточная компонента, нТ	2937,8
Вертикальная компонента, нТ	46952,1
Полное поле, нТ	49447,0

Траектория подспутниковой точки МКС относительно ВЧ-станда «Сура»

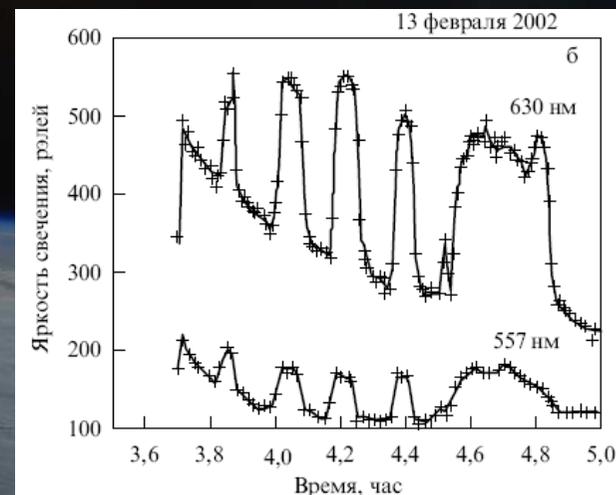
# Свечение первого эмиссионного слоя ночной атмосферы



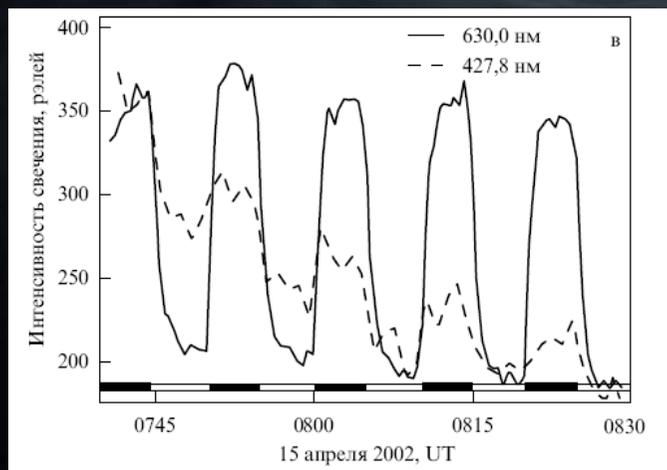
# Интенсивность свечений ионосферы над нагревным стендом HAARP



Красная линия (630 нм)  
при частоте волны  
3,3 МГц. Максимальная  
эффективная мощность  
20 МВт достигнута  
после 20 мин работы.

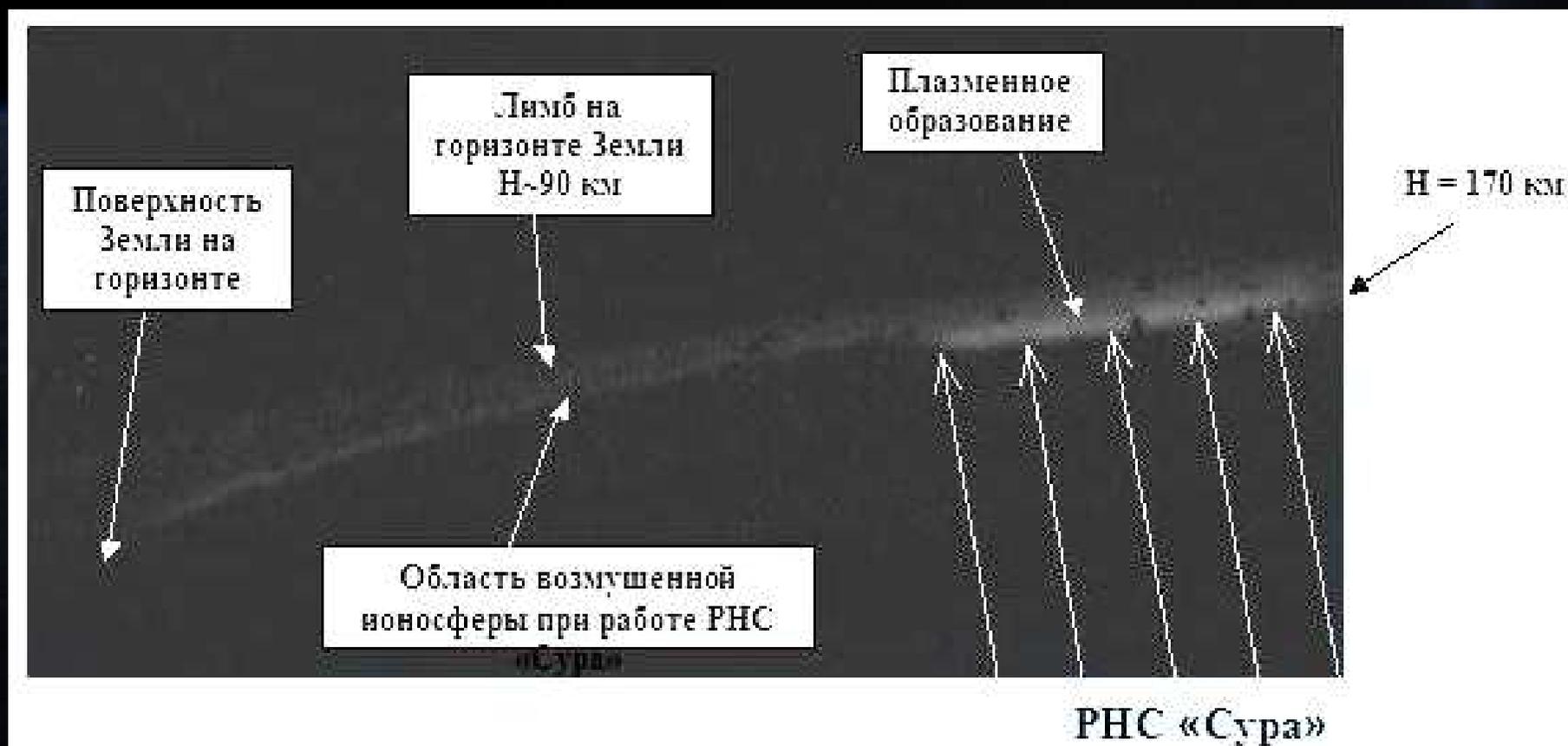


Красная (630 нм)  
и зеленая (557 нм)  
линии при частоте  
волны 7,8 МГц



Красная (630 нм)  
и фиолетовая (427,8 нм)  
линии

## Зарегистрированные ТВ-камерой оптического диапазона свечения ионосферы над ВЧ-стендом «Сура» в КЭ «Релаксация» на МКС



# Математическая модель

## Исходные данные

Высота орбиты МКС, км	400
Радиус Земли, км	6400
Высота нижней границы слоя наблюдения, км	80
Высота верхней границы слоя наблюдения, км	110
Дальность до центра слоя наблюдения, км	2013
Высота нижней границы второго эмиссионного слоя, км	310
Высота верхней границы второго эмиссионного слоя, км	340
Точность углового положения стационарной системы координат МКС относительно орбитальной системы координат, град	±15
Максимальная скорость дрейфа осей стационарной системы координат МКС относительно орбитальной системы координат, град/с	0,02 - 0,05
Время, за которое МКС делает один оборот вокруг Земли, мин	68

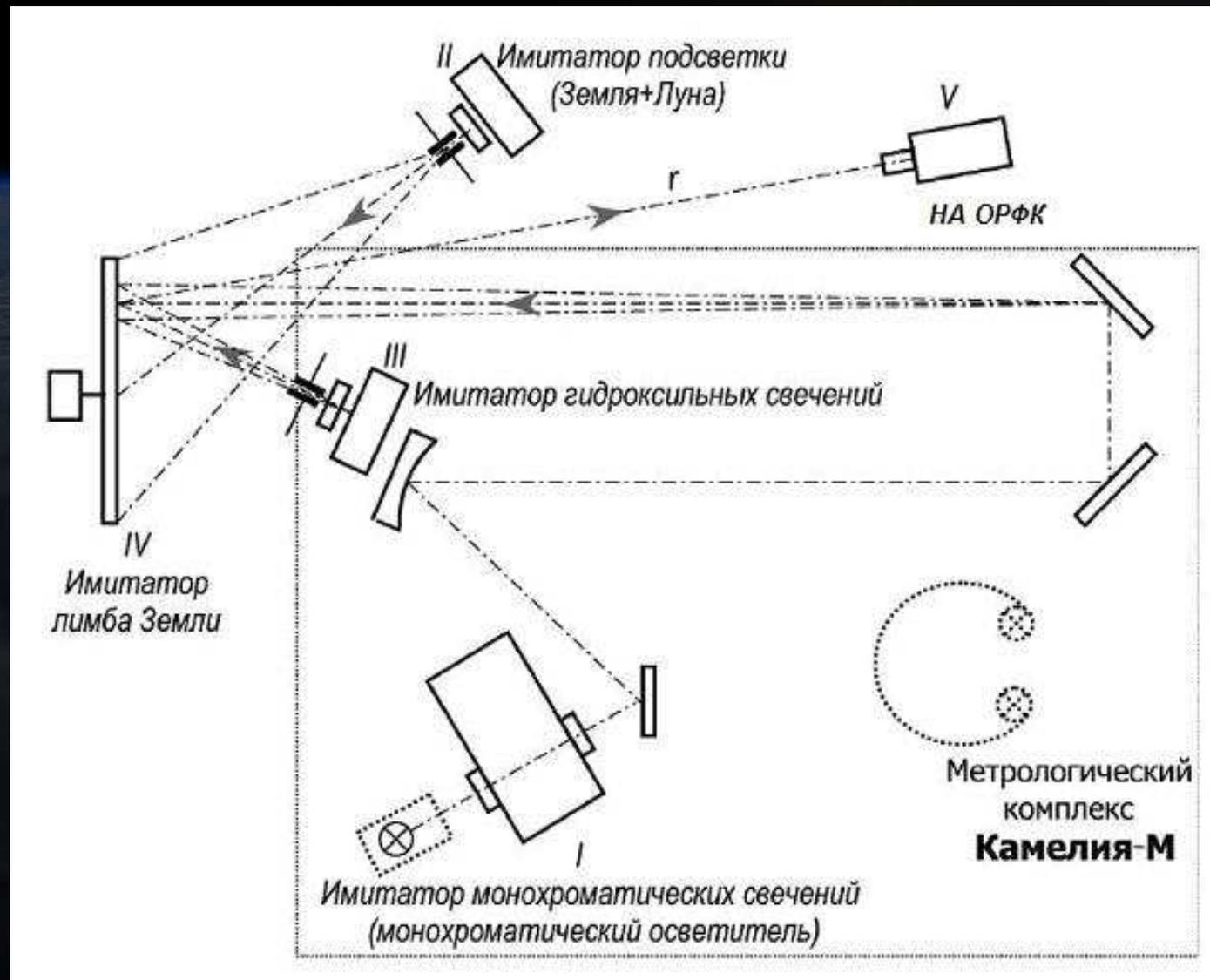
## Параметры модели

Дальность до центра слоя, км	2013
Дальность до светящейся области на стендом «Сура», км	1543
Коэффициент подобия для гидроксильных слоев	335500
Коэффициент подобия для светящейся области	257167
Радиус диска имитатора Земли, м	19
Высота нижней границы второго эмиссионного слоя, см	24
Ширина второго эмиссионного слоя, см	9
Горизонтальный размер светящейся области, см	27

## Геометрические размеры полей зрения оптических датчиков

	Угол, °	Размер на экране, см
ДВР	12,3	129
ДГС	4	42
ДРИ	17,6	18,2

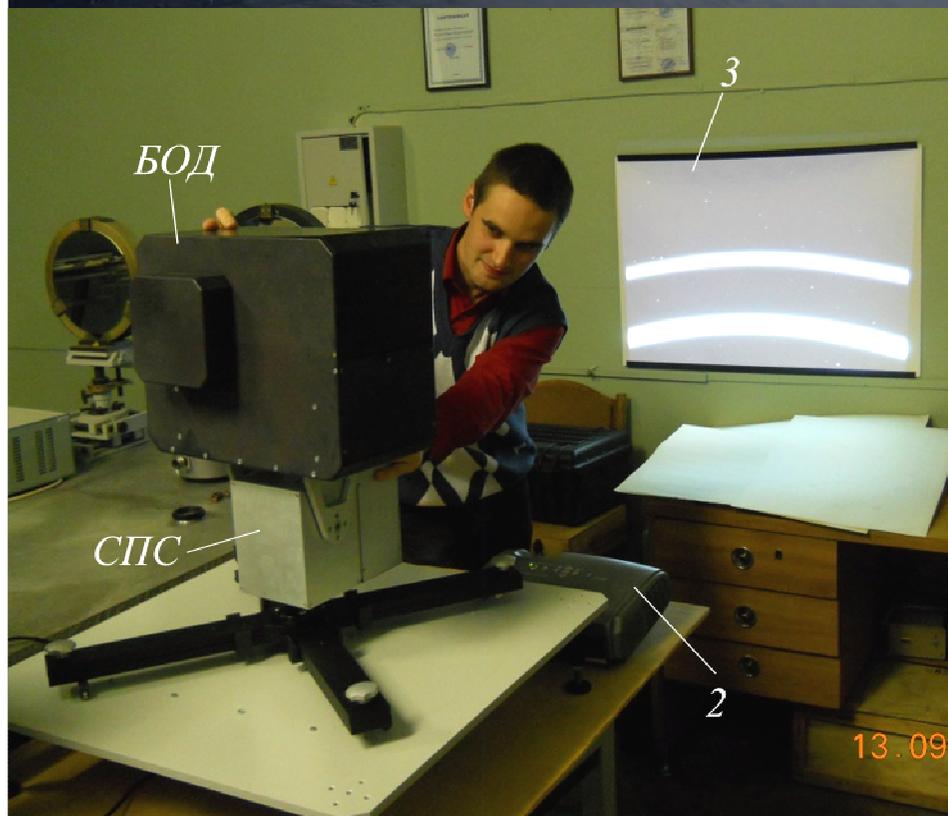
# Функциональная схема блоков имитатора, совмещенных с метрологическим комплексом «Камелия-М»



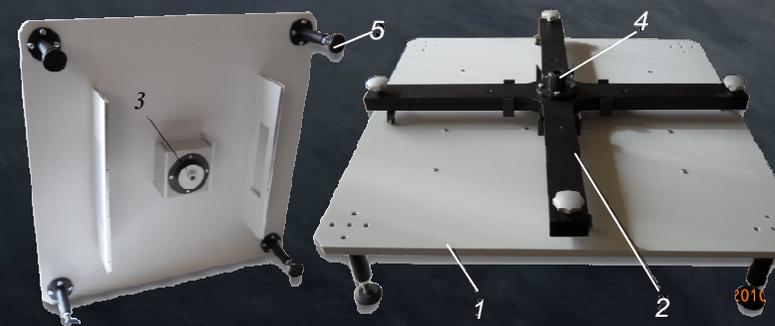
# ИМИТАТОР КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ «ГИДРОКСИЛ» И «ДИАГНОСТИКА»

Имитатор КЭ «Диагностика» включает в себя:

- 1) аппаратно-программный комплекс, моделирующий источники излучения ночной верхней атмосферы Земли и состоящий из:
  - ноутбука (1);
  - проектора (2);
  - экрана отображения атмосферных эмиссий (3);
- 2) блок (4), моделирующий движение МКС по орбите;
- 3) программное обеспечение.



Блок, моделирующий движение МКС по орбите



1 – опорная станина; 2 – крестовина; 3 – шаговый двигатель с редуктором; 4 – переходная втулка; 5 – установочная опора (4 шт.)

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



**Институт прикладных физических проблем им.  
А.Н.Севченко Белорусского государственного  
университета,  
Минск, Беларусь.**

**Отдел аэрокосмических исследований**

**Телефон: + 375 17 278 04 09**

**Факс: + 375 17 278 57 26**

**Сайт: <http://remsens.by>**

**E-mail: [nikolai.keido@gmail.com](mailto:nikolai.keido@gmail.com)**