



**ОПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ СВЕЧЕНИЙ  
ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ДЛЯ  
КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА  
«ДИАГНОСТИКА»**

Беляев Б.И., Катковский Л.В., Синельников В.М.\*,  
Сосенко В.А., Хвалей С.В.

*НИИ прикладных физических проблем им. А.Н.Севченко, г.Минск, Беларусь*

*\*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН)*

A satellite with two large solar panel arrays is in orbit above the Earth's surface. The background shows the blue and white clouds of the planet.

# Исполнители работ

Головной исполнитель – НИИПФП БГУ, г. Минск. Разрабатывает и изготавливает модуль оптический оптико-радиофизического комплекса (ОРФК).

Соисполнитель со стороны РФ – Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Троицк Московской обл. – постановщик космического эксперимента (КЭ) «Диагностика». Разрабатывает и изготавливает радиофизический модуль.

Ответственный за реализацию КЭ «Диагностика» - ОАО РКК «Энергия» им. С.П.Королева

КЭ «Диагностика» включен в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и экспериментов на РС МКС» по секции № 2 «Геофизические исследования» КНТС Федерального космического агентства РФ и РАН, раздел 10



## Цель выполнения ОКР «Диагностика

**разработка и изготовление модуля оптического оптико-радиофизического комплекса (шифр «ОРФК») научной аппаратуры КЭ «Диагностика», ориентированного на спутниковый мониторинг околоземной среды и эффектов природных и техногенных воздействий.**

### Конструктивные требования

**ОРФК должен выполнять свои функции в условиях воздействия факторов, обусловленных космическим орбитальным полетом при размещении вне герметичного отсека.**

A satellite with two large solar panel arrays is shown in orbit above the Earth's surface. The background shows the curvature of the planet with blue oceans and brownish-green landmasses under a clear sky.

## ОРФК предназначен для:

- измерения параметров атмосферы и ионосферы в высотном диапазоне до 350–400 км, мониторинг их регулярной и неоднородно-волновой структуры (в зависимости от характера и интенсивности различных источников воздействия);
- исследования физических явлений в околоземном космическом пространстве, обусловленных естественными (природными) источниками возмущений и техногенными воздействиями;
- отработки 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;
- повышения достоверности прогнозирования природных и чрезвычайных техногенных событий путём интеграции данных космического и наземного сегментов.





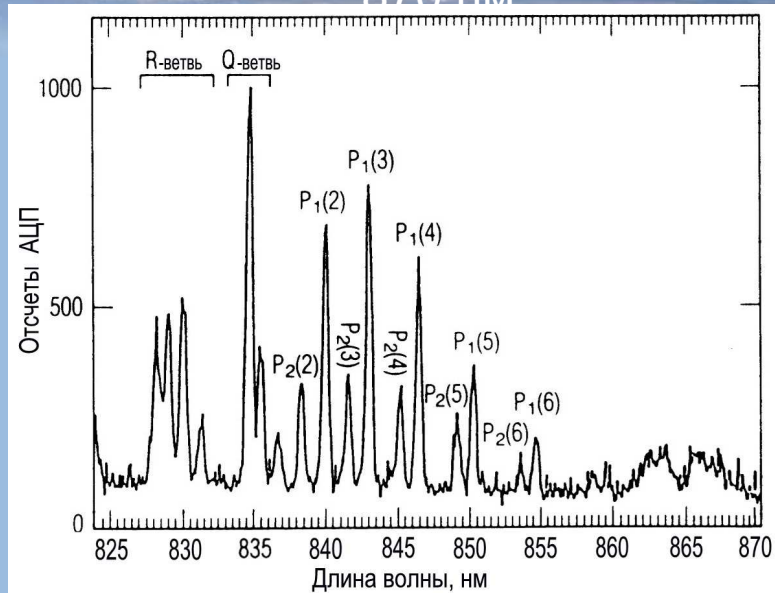
Модуль оптический предназначен для:

- исследования ночного свечения атмосферы;
- исследования оптических явлений, связанных с высотными электрическими разрядами;
- исследования оптических явлений, связанных с воздействием мощных радиоволн на ионосферу.

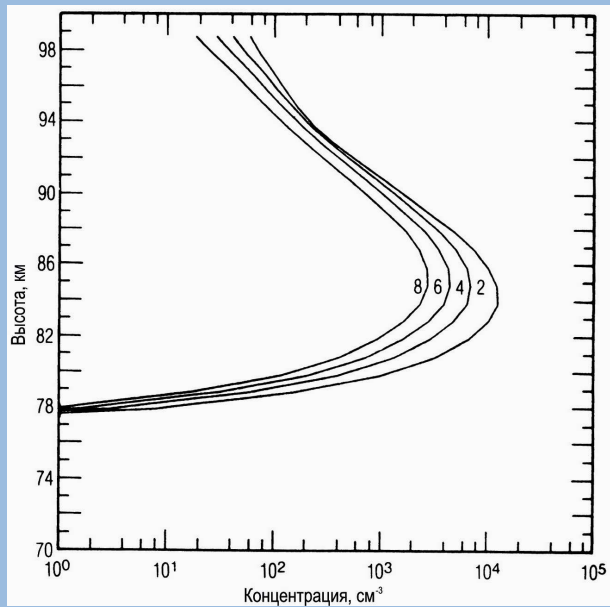
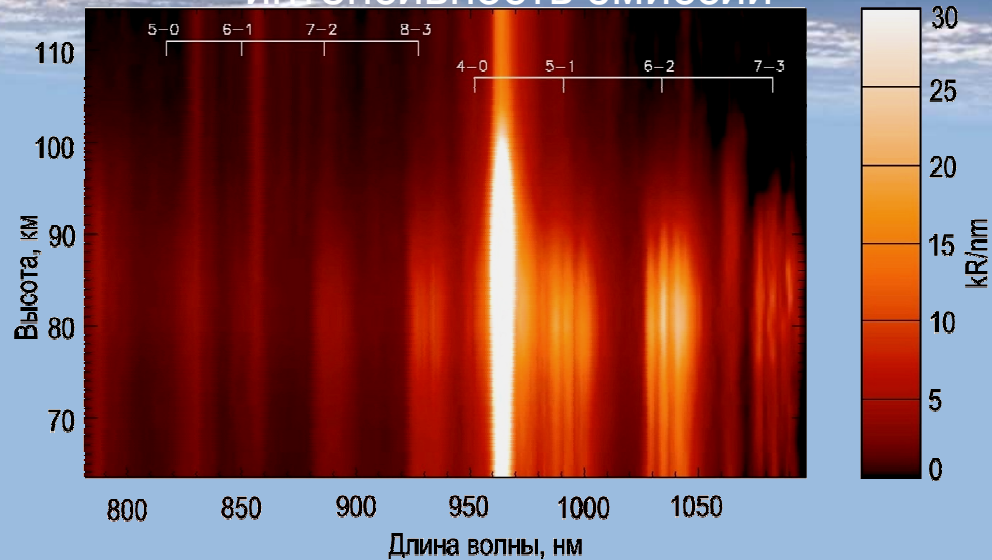




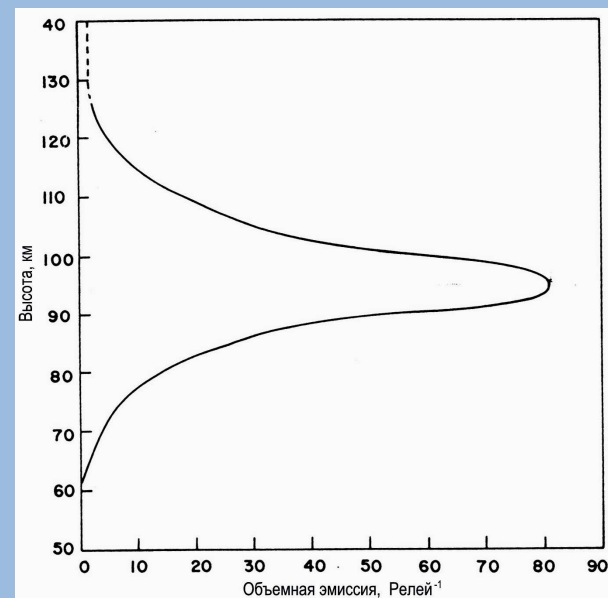
# Спектр верхней атмосферы в диапазоне спектра 825 – 870 нм



Вид изображения (компьютерная эмуляция), получаемого ДГС: по оси x – развертка спектра, по оси y – высотное распределение свечения, градациями цвета показана интенсивность эмиссии



Типичные высотные распределения объемной эмиссии и концентраций возбужденных молекул гидроксила OH и атомарного кислорода







## Характеристики явлений,

### СВЯЗАННЫХ С ВЫСОТНЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ РАЗРЯДАМИ

1. Диапазон высот наблюдаемых явлений:

RS 45–100 км,  
VJ 20–50 км,  
Эльф 100 км.

2. Габаритные поперечные размеры наблюдаемых явлений:

RS 20–50 км,  
VJ 10–20 км,  
Эльф несколько сотен км в диаметре.

3. Спектральный состав излучения:

RS 650–790 нм,  
VJ 391,4 и 427,8 нм,  
Эльф 700–800 нм.

4. Длительность явлений:

RS 3–5 мс,  
VJ 100–200 мс,  
молний  $\leq 2$  мс,  
Эльф менее 1 мс.

5. Энергетическая яркость явлений (интенсивность):

RS 50 рэлей – 600 килорэлей,  
VJ несколько сотен килорэлей

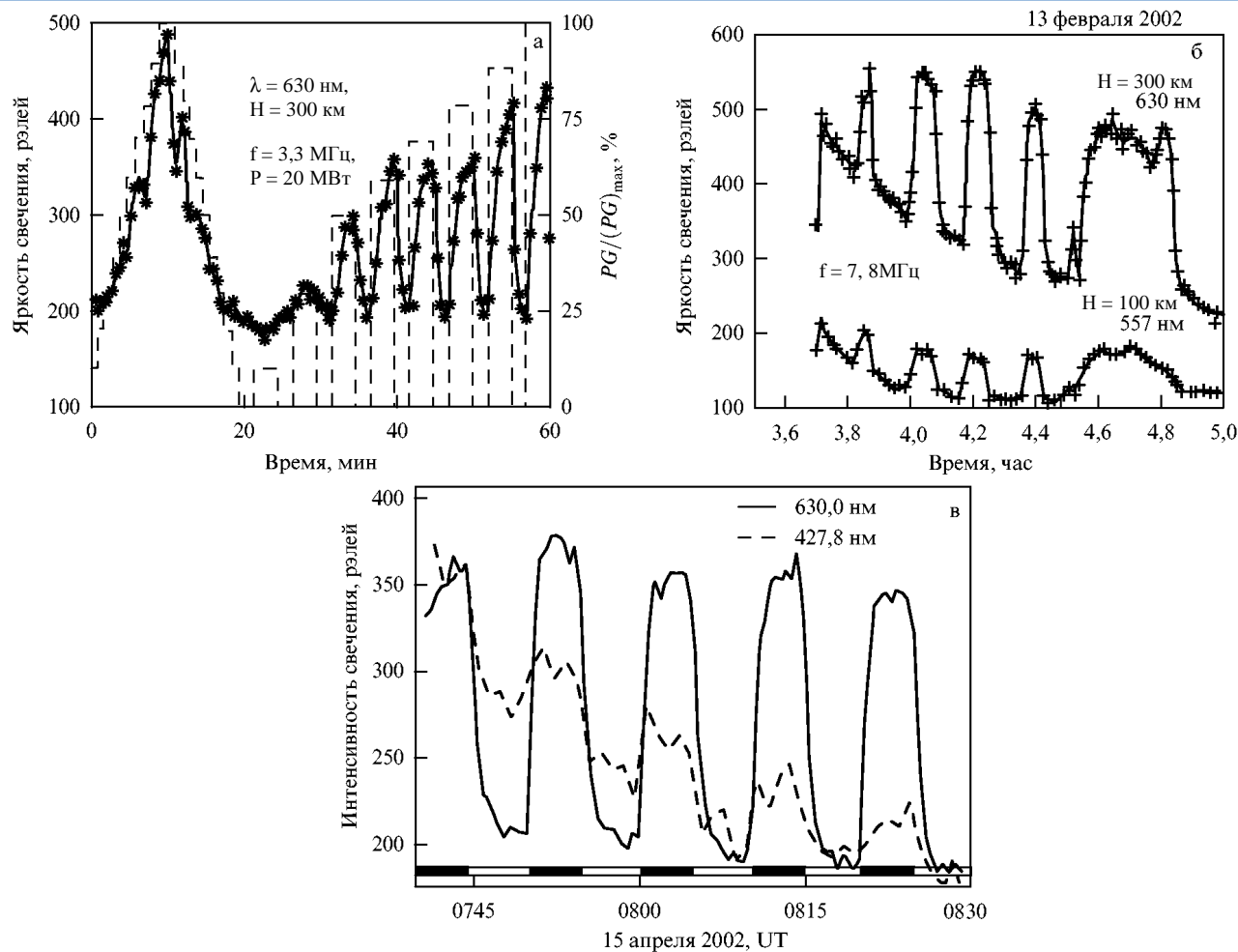


(1 рэлей – светимость, при которой столб с основанием  $1 \text{ см}^2$  излучает во всех направлениях  $10^6$  фотонов в 1 с; при  $\lambda = 700 \text{ нм}$  соответствует энергетической светимости  $2,84 \cdot 10^{-9} \text{ Вт/м}^2$ )



# Экспериментальные исследования физики ионосферной плазмы методом воздействия радиоволн

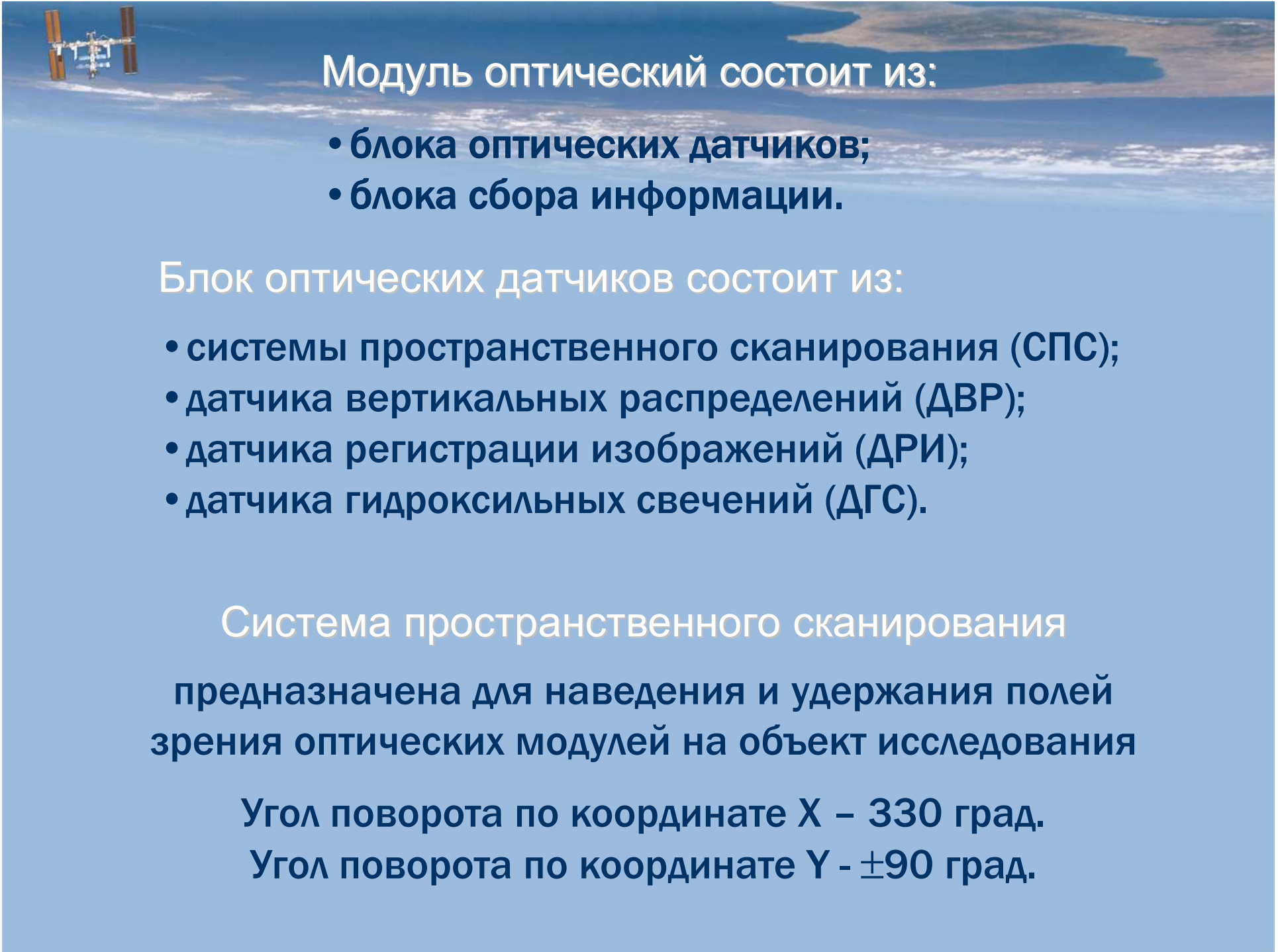
Сейчас в мире имеется пять действующих установок: одна в России («Сура» в Васильсурске), две в Европе («Тромсо» в Северной Норвегии и SPEAR на Шпицбергене) и две в США (HAARP и HIPAS на Аляске)



Оптическое излучение из возмущенной области ионосферы в красной линии (630 нм).

б – Наблюдения свечения в красной (630 нм) и зеленой (557 нм) линиях.

в – Одновременные наблюдения в красной (630 нм) и фиолетовой (427,8 нм) линиях. (Станция работала в режиме выкл.)



## Модуль оптический состоит из:

- блока оптических датчиков;
- блока сбора информации.

## Блок оптических датчиков состоит из:

- системы пространственного сканирования (СПС);
- датчика вертикальных распределений (ДВР);
- датчика регистрации изображений (ДРИ);
- датчика гидроксильных свечений (ДГС).

## Система пространственного сканирования

предназначена для наведения и удержания полей зрения оптических модулей на объект исследования

Угол поворота по координате X – 330 град.

Угол поворота по координате Y -  $\pm 90$  град.



Датчик вертикальных распределений 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 предназначен для регистрации спектральных изображений эмиссий в диапазоне 0,35–1,05 мкм с помощью матричного приемника ПЗС с электронным умножением  $1000 \times 1000$  элементов, связанных с высотными электрическими разрядами и воздействием мощных радиоволн на ионосферу в широком диапазоне высот у лимба Земли.

Датчик гидроксильных свечений 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.



A satellite with two large solar panel arrays is shown in orbit above the Earth's surface. The background is a blue sky with white clouds and a portion of the brown and green landmasses of the Earth.

## Блок сбора информации

обеспечивает тестирование и управление режимами работы оптических датчиков и системы пространственного сканирования, записи данных и служебной информации, взаимодействие блока оптических датчиков ОРФК со служебными системами РС МКС.

Устанавливается внутри герметичного объема РС МКС.

Блок сбора информации состоит из:

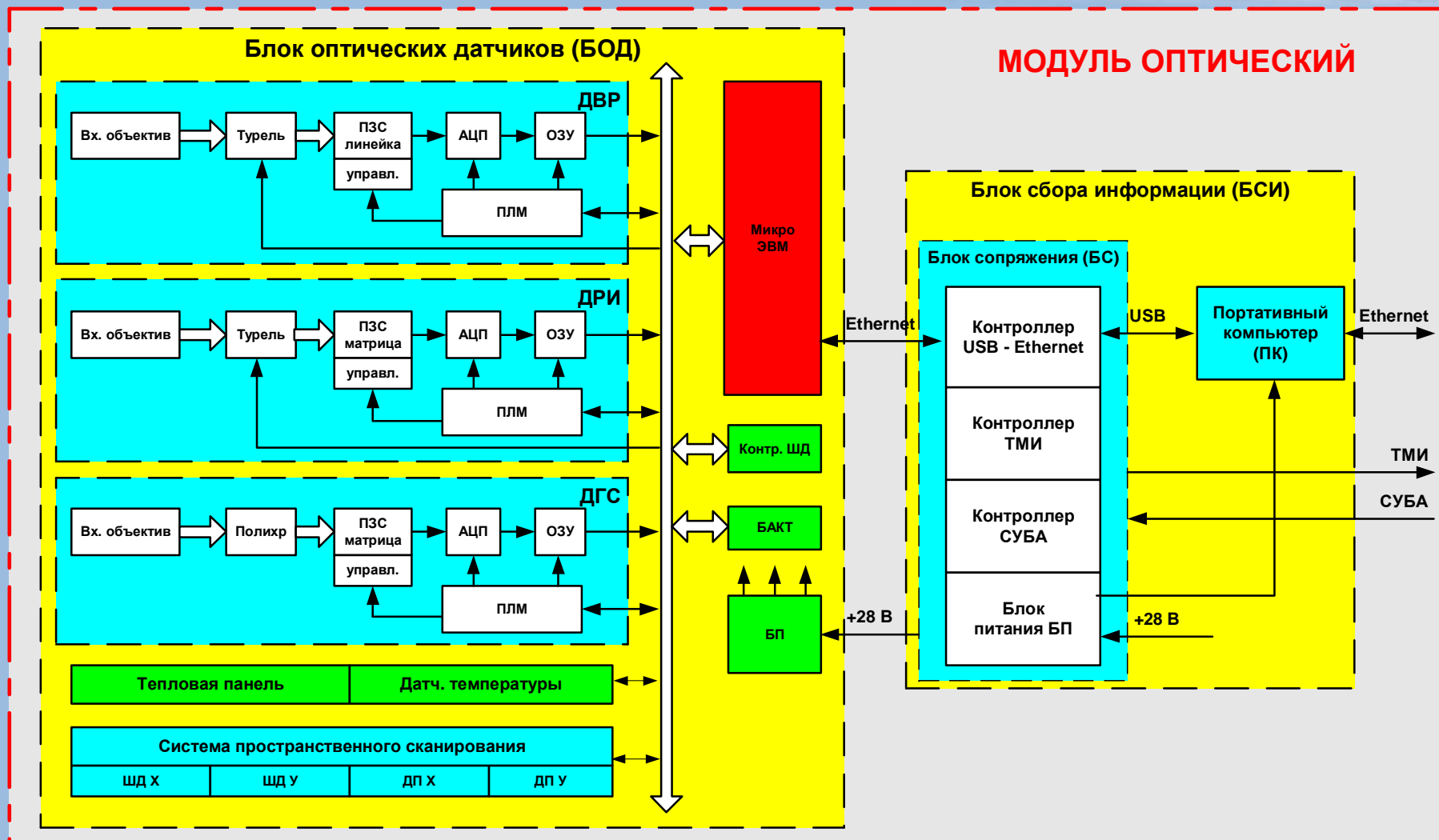
- блока сопряжения (БС);
- портативного компьютера (ПК) типа Notebook.



## Рассчитанные значения параметров датчика гидроксильных свечений

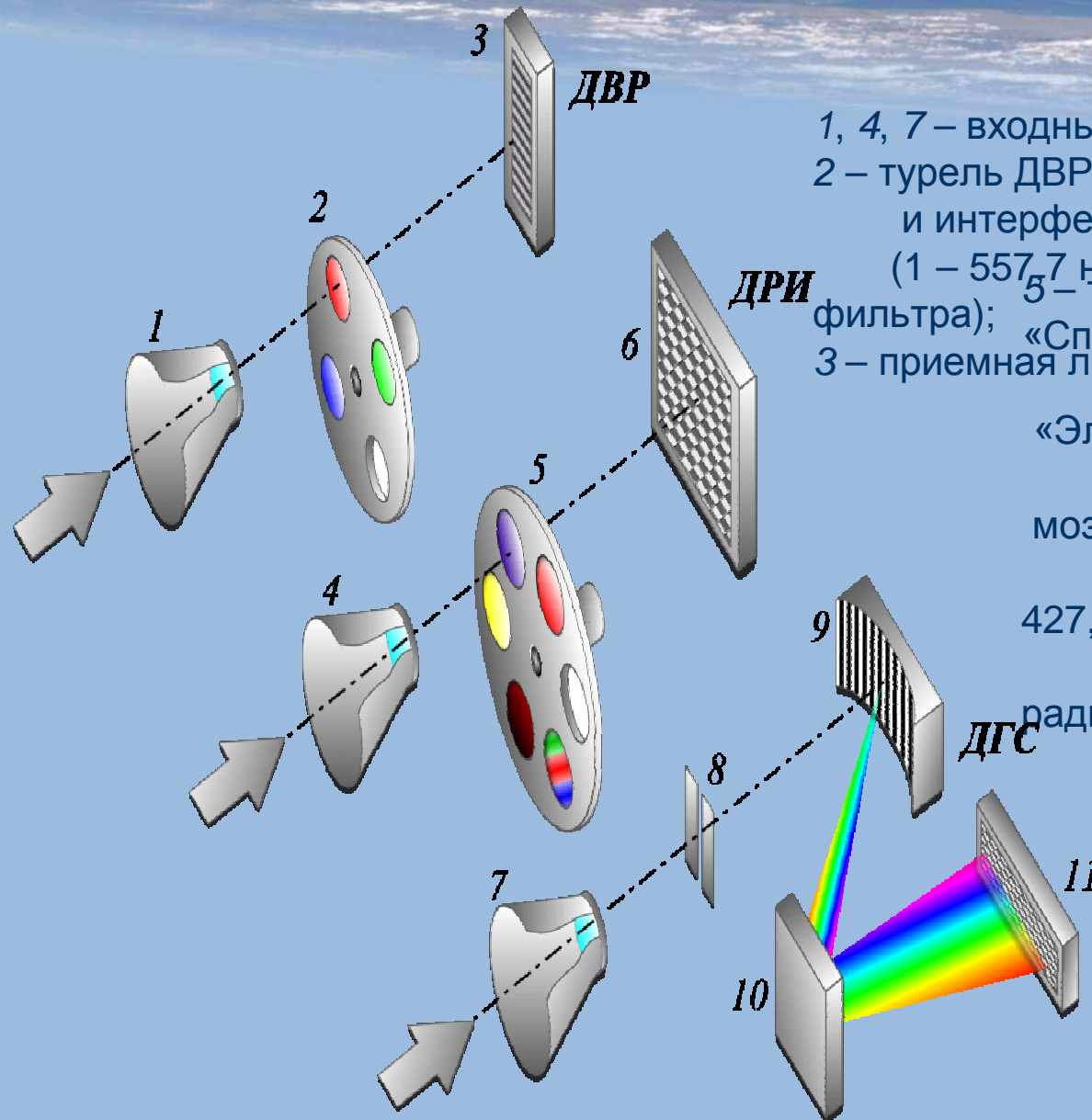
Диаметр входного объектива, мм	48
Фокусное расстояние входного объектива, мм	134
Относительное отверстие входного объектива	1 : 2,8
Пропускание входного объектива	0,9
Пространственное разрешение, км	<1
Спектральный диапазон, нм	350 - 1050
Спектральное разрешение, нм	1
Ширина входной щели, мм	0,100
Высота входной щели, мм	3,2
Обратная линейная дисперсия, нм/мм	8
Поле зрения одного пикселя по вертикали, град	0,01
Минимальный угол поля зрения по вертикали, град	0,58
Эффективность дифракционной решетки	0,9
Рабочая площадь дифракционной решетки, мм <sup>2</sup>	56 × 56
Входное плечо решетки, мм	260
Средняя фотонная светимость отдельной линии в полосах ОН при наблюдении в пимб-кРэпей	3,5
Средняя спектральная фотонная светимость фона, кРэлей/нм	0,3
Средний ток сигнала в линии ОН, е-/ (пиксель·с)	1,1
Средний ток фонового сигнала, е-/ (пиксель·с)	0,08
Время экспозиции для отношения сигнал/шум SNR=3, с	20
Время экспозиции для SNR=3 при биннинге по 5 пикс., с	4

# Структурная схема модуля оптического ОРФК





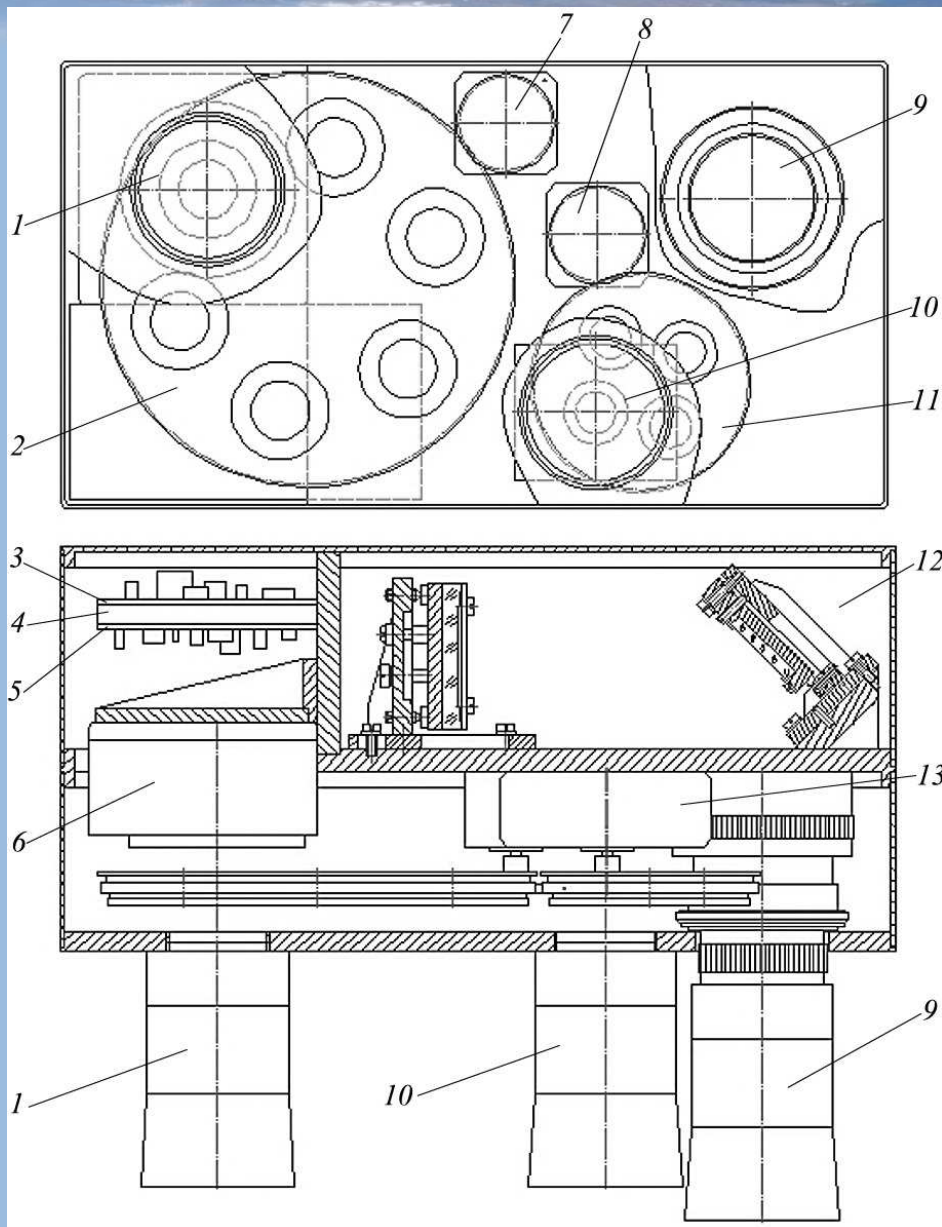
# Оптико-кинематическая схема БОД НА ОРФК



- 1, 4, 7 – входные объективы с блендами;  
 2 – турель ДВР с шаговым двигателем и интерференционными фильтрами (1 – 557,7 нм; 2 – 630,0 нм; 3 – 427,8 нм; 4 – без фильтра); 5 – турель ДРИ (1 – 650–750 нм «Спрайт»; 2 – 390–430 нм «Джет»; 3 – «Эльф»; 4 – 868,0 нм «Молния»; 5 – мозаичный фильтр: 557,7 нм–630,0 нм–427,8 нм); 6 – приемная матрица «Воздействие мощных радиоволн на ионосферу», 1000 × 1000 элементов; 7 – узел входной щели, полихроматора ДГС; 8 – без фильтра; 9 – диспергирующий элемент; 10 – поворотное зеркало; 11 – приемная матрица полихроматора 2048 × 250



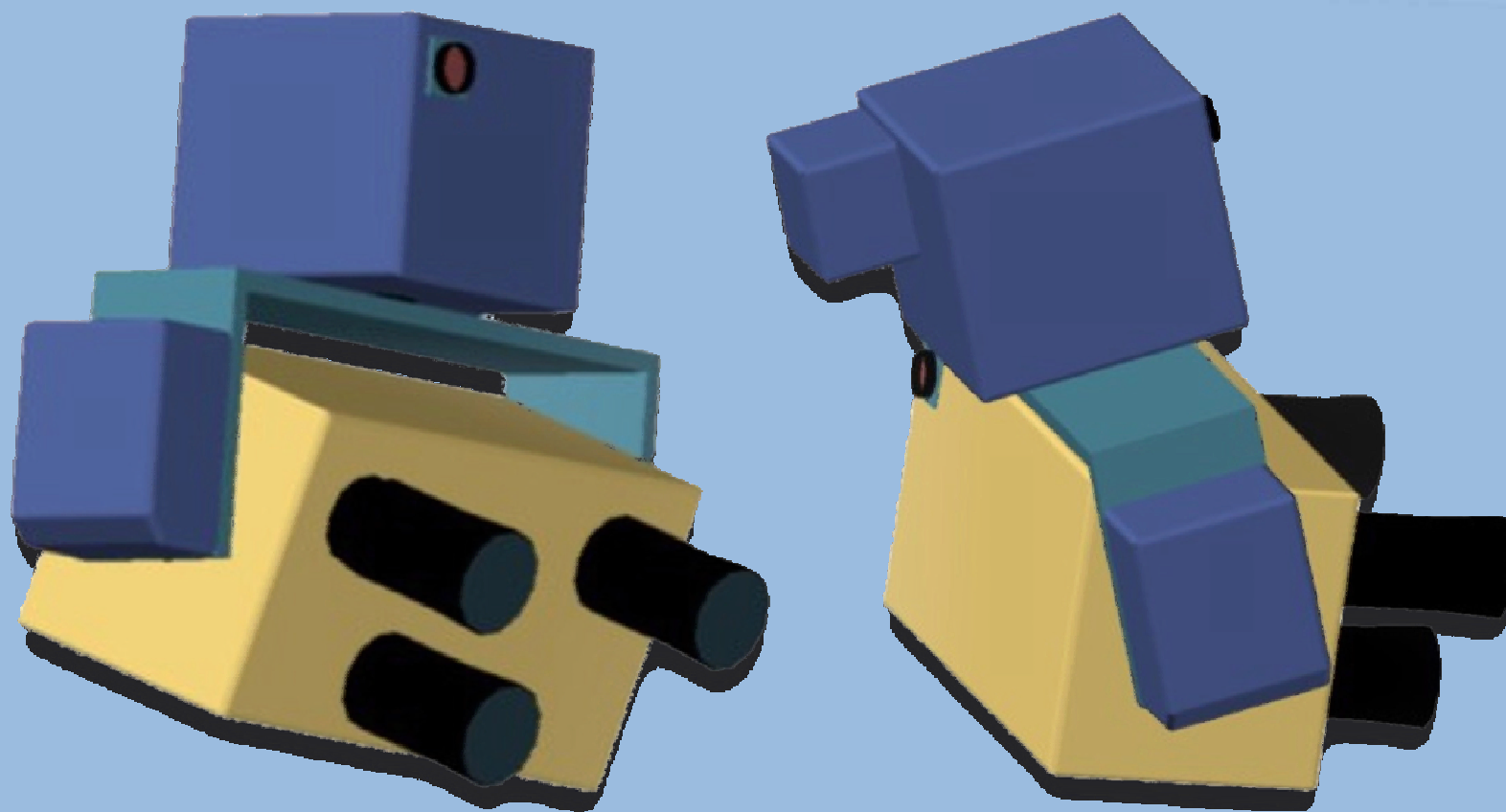
## Конструкция блока оптических датчиков



КД общего вида корпуса  
оптических датчиков БОД

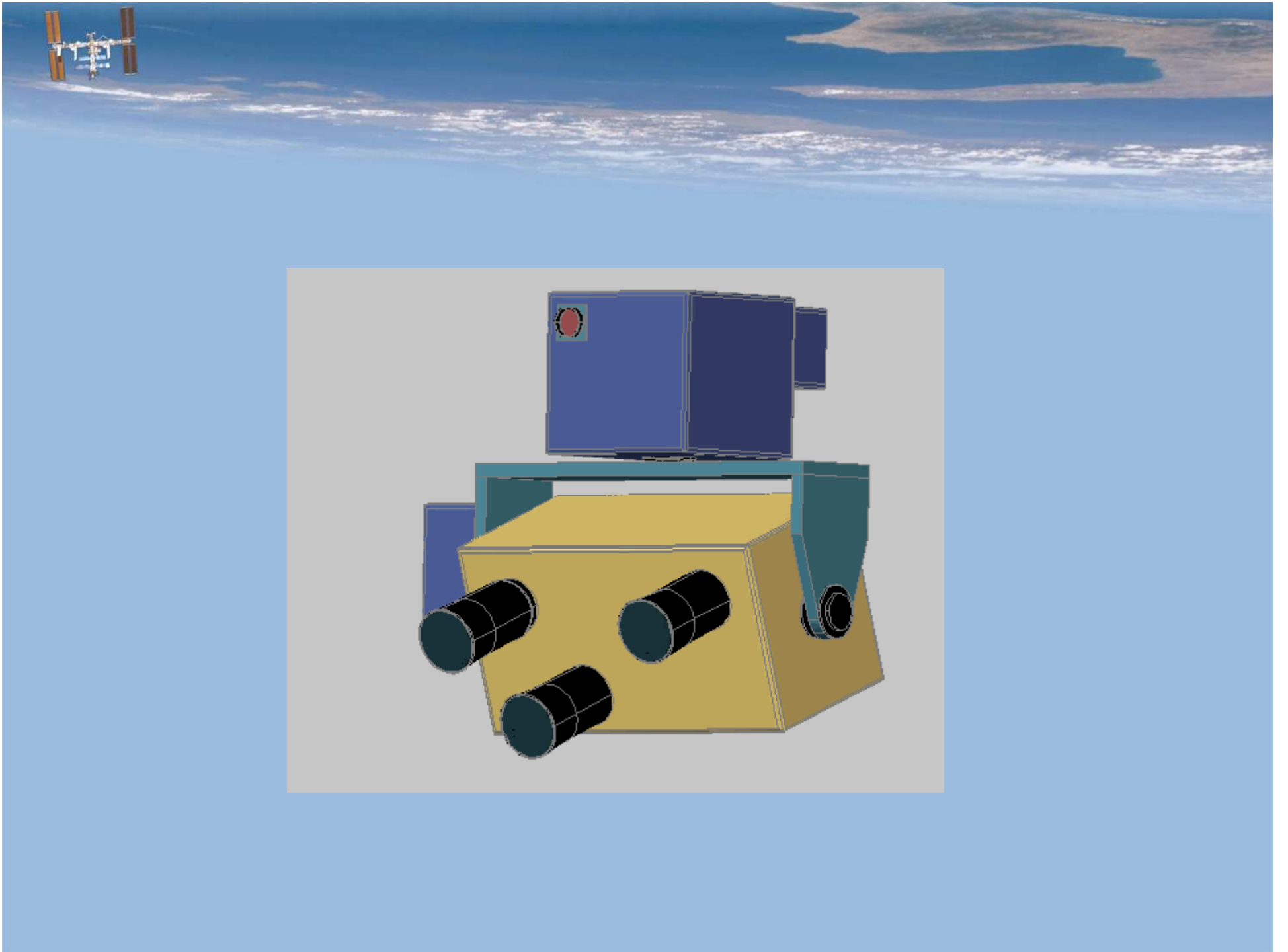
- 1 – объектив ДРИ;
- 2 – турель ДРИ;
- 3 – печатная плата контроллера ШД;
- 4 – теплопанель;
- 5 – печатная плата микроЭВМ БОД;
- 6 – ПЗС матрица ДРИ;
- 7, 8 – ШД;
- 9 – объектив ДГС;
- 10 – объектив ДВР;
- 11 – турель ДВР;
- 12 – полихроматор ДГС;
- 13 – ДВР

## 3D модель блока оптических датчиков ОРФК



желтый цвет – корпус оптических датчиков; черный – объективы датчиков;  
синий – система пространственного сканирования;  
голубой – кронштейн системы пространственного сканирования





**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**



remsens@niks.by

