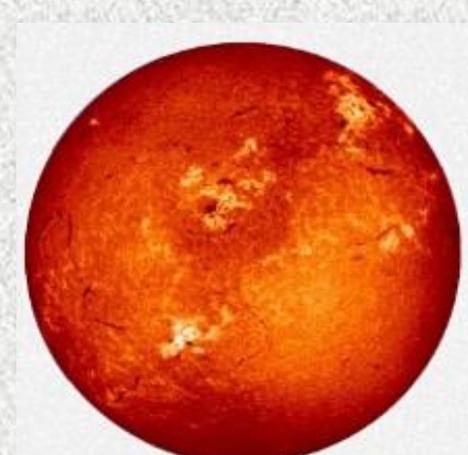


Укрупненный инвестиционный проект «Национальный гелиогеофизический комплекс Российской академии наук»

Институт солнечно-земной физики СО РАН



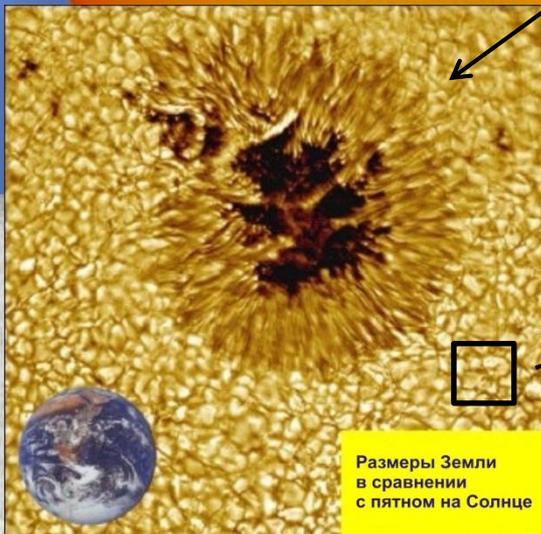
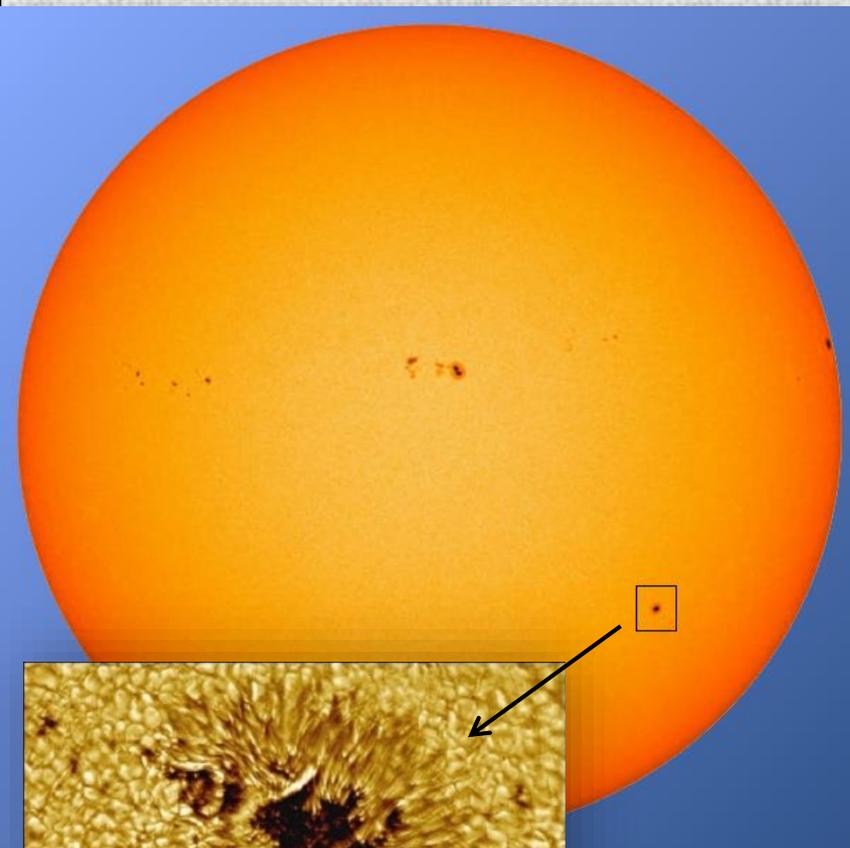
Комплекс создается на базе обсерваторий ИСЗФ СО РАН, оснащенных большим набором инструментов, в том числе уникальных



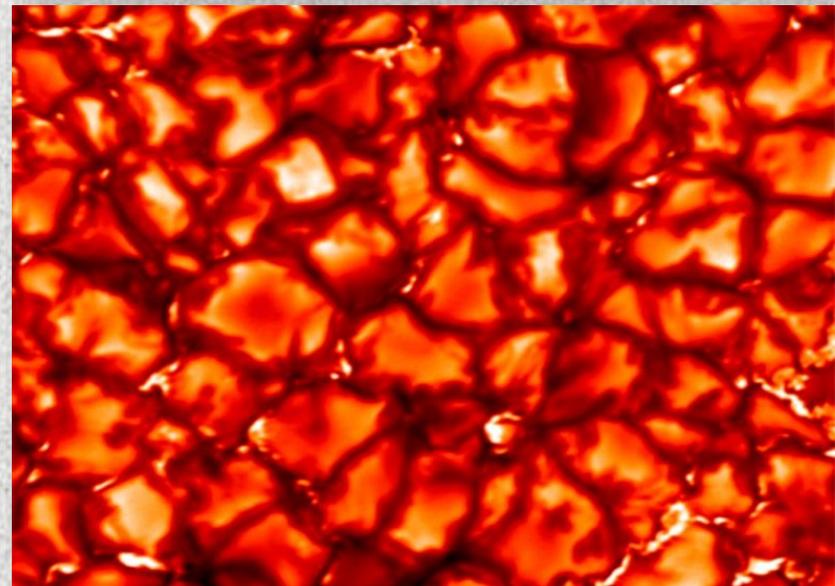
Крупный солнечный телескоп-коронаограф с диаметром зеркала 3 м

Основные фундаментальные научные задачи:

- Исследование строения солнечной атмосферы с недостижимым прежде пространственным, временным и спектральным разрешением;
- Исследование природы солнечного магнетизма и цикличности активности;
- Исследование процессов энерговыделения во вспышечных и других динамических явлениях;
- Мониторинг солнечных процессов и разработка прогноза солнечной активности.



Размеры Земли
в сравнении
с пятном на Солнце

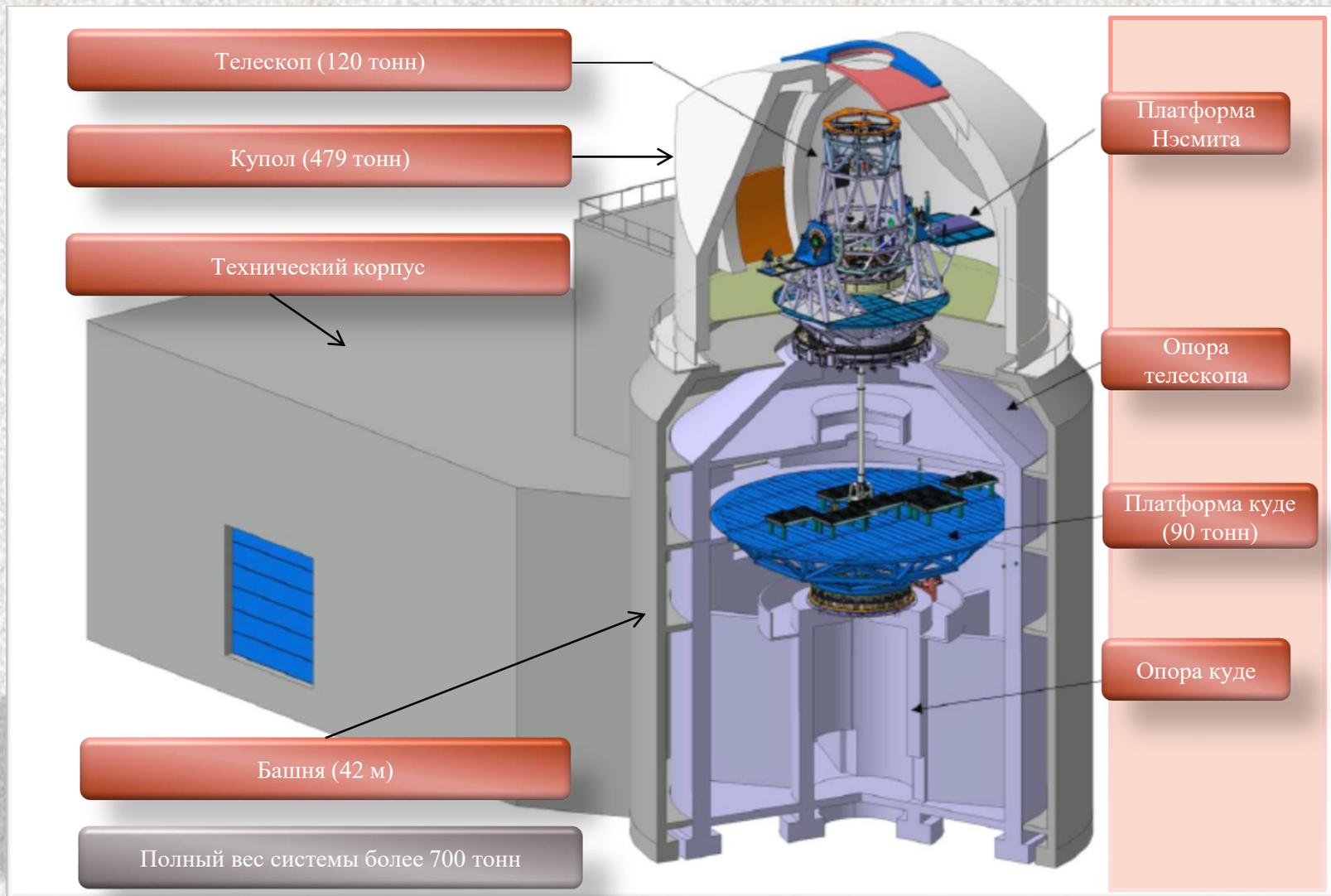


Основные требования к крупному телескопу

- * Апертура не менее 3 м
 - пространственное разрешение 0.1 угл. с (70 км)
 - временное разрешение 1 – 5 с
 - спектральное разрешение $\sim 10 \text{ mÅ}$ (380-2300 нм)
- * Коронографическая мода в ИК-диапазоне
- * Использование адаптивных оптических элементов
- * Инструментальный рассеянный свет $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ на расстоянии $R/R_0=1.15$ по крайней мере в ИК-диапазоне
- * Инструментальная поляризация $<10 \%$
- * Эффективный тепловой режим узла главного фокуса.

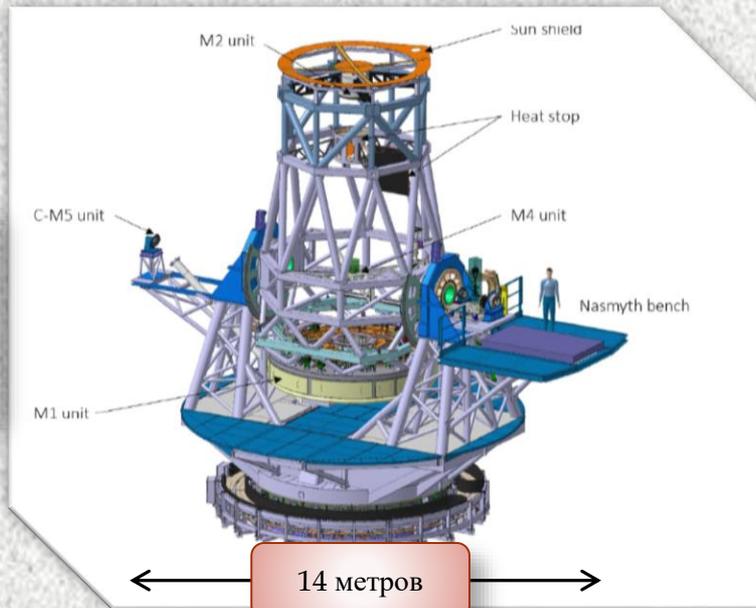


Основные элементы КСТ-3



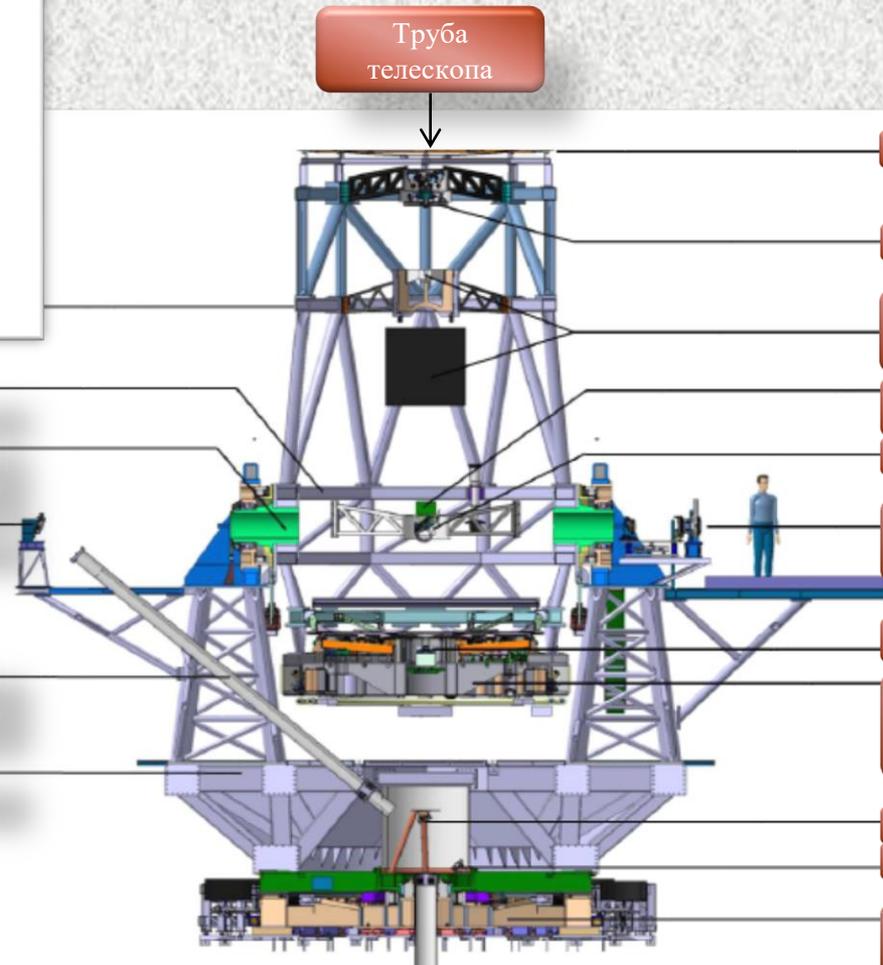
Конструкция телескопа

Характеристика	Значение
Пространственное разрешение	0.1 угл. сек. (~70 км)
Размер изображения	12, 24, 46 мм
Спектральный диапазон	380 ÷ 2300 нм
Точность перемещения	0.0025 угл. сек.



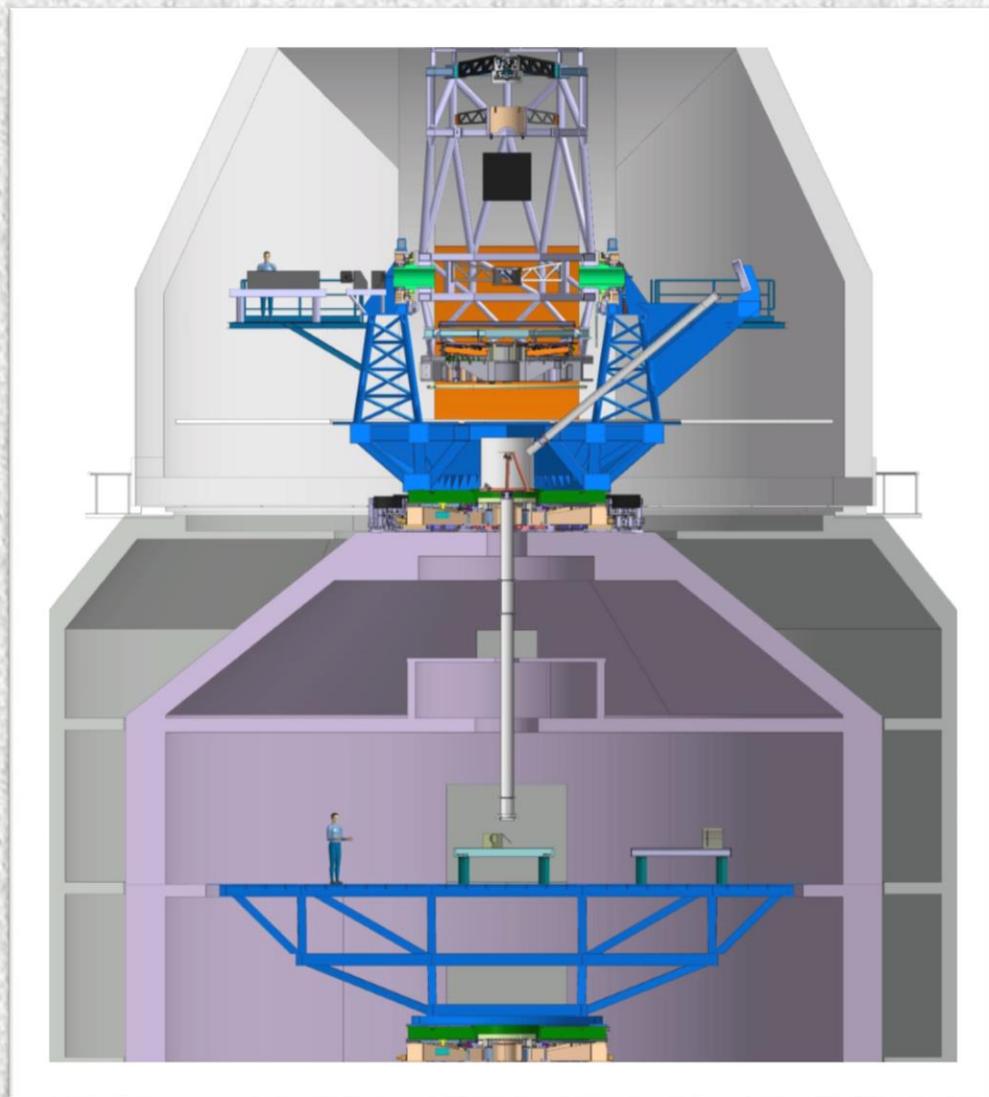
- Средник
- Привод оси высот
- Узел М5

- Труба с вакуумом
- Вилка

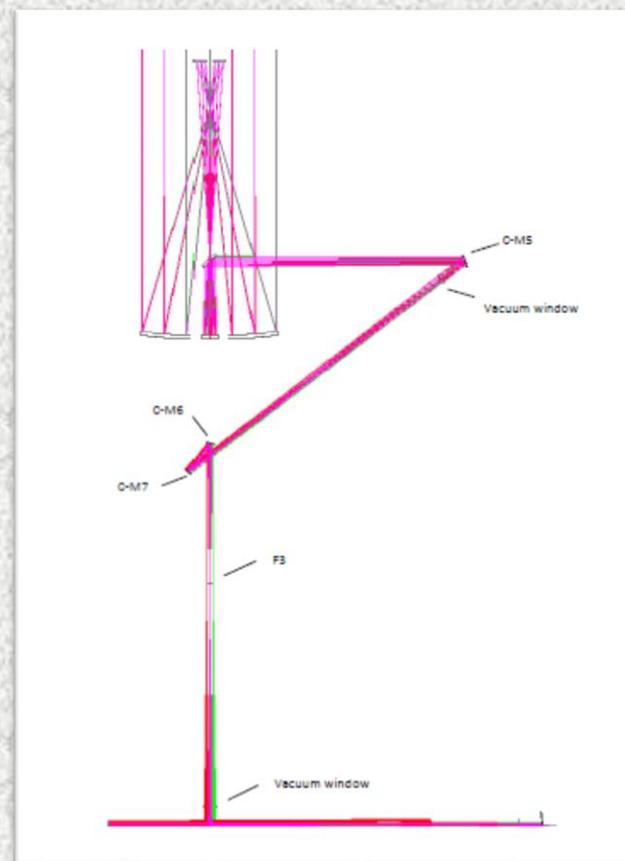


- Диафрагма
- Узел М2
- Тепловая диафрагма
- Анализатор поляризации
- Узел М4
- Платформа Нэсмита
- Узел М3
- Узел М1 (главное зеркало)
- Узел М7
- Узел М6
- Азимутальный подшипник

Размещение телескопа в башне, оптическая схема



← 15 метров →

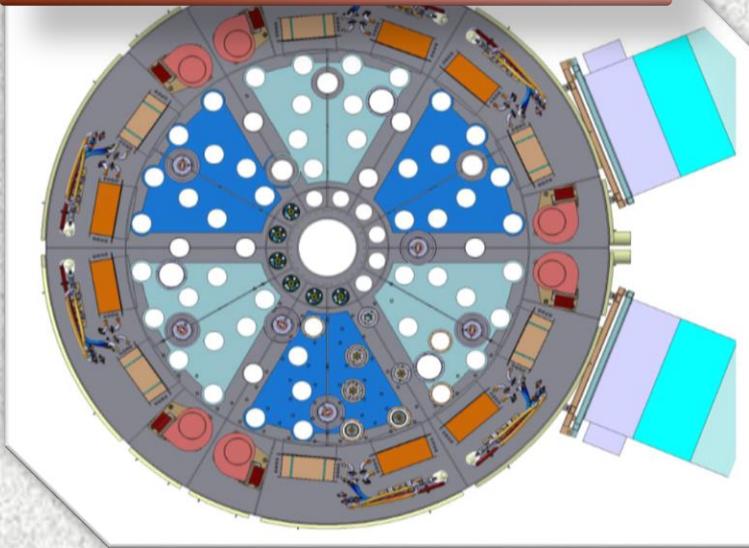


25.5 метра

Габариты оптической системы

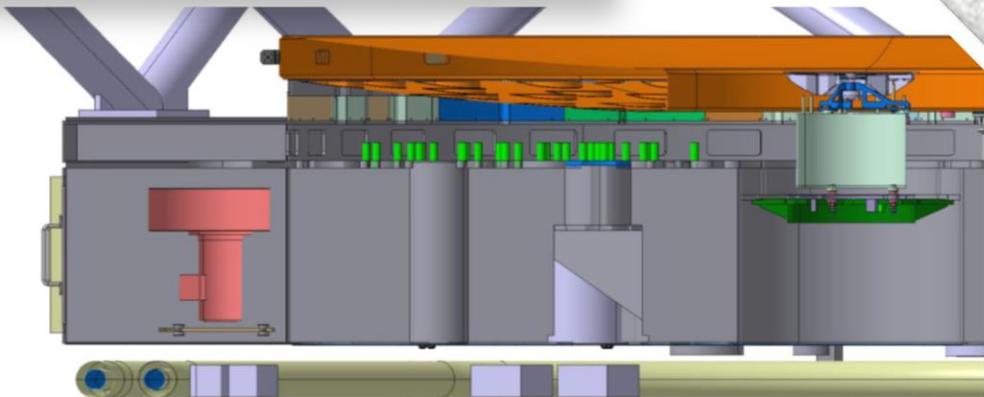
Узел главного зеркала М1

Активная оправа для М1

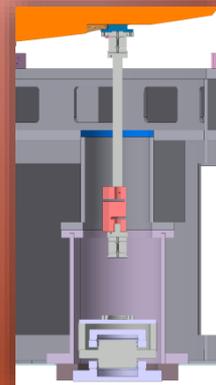


Характеристика	Значение
Внешний диаметр М1	3100 мм
Оптический диаметр М1	3000 мм
Количество толкателей активной оправы	64
Материал	Астроситалл ®
Толщина зеркала	120 мм
Радиус кривизны	11300 мм
Масса зеркала	2120 кг
Масса узла М1 в сборе	~13000 кг

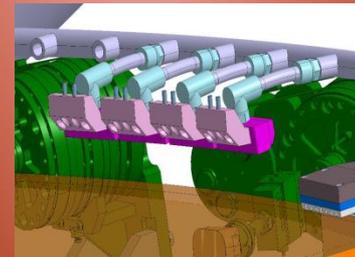
Зеркало в оправе



Толкатель для задания формы М1

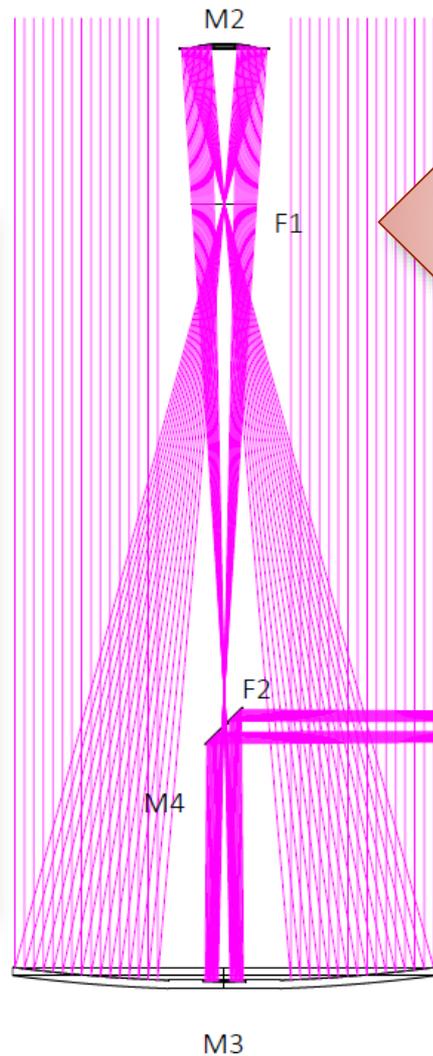


Сопла для обдува зеркала М1



Главные элементы оптической системы:

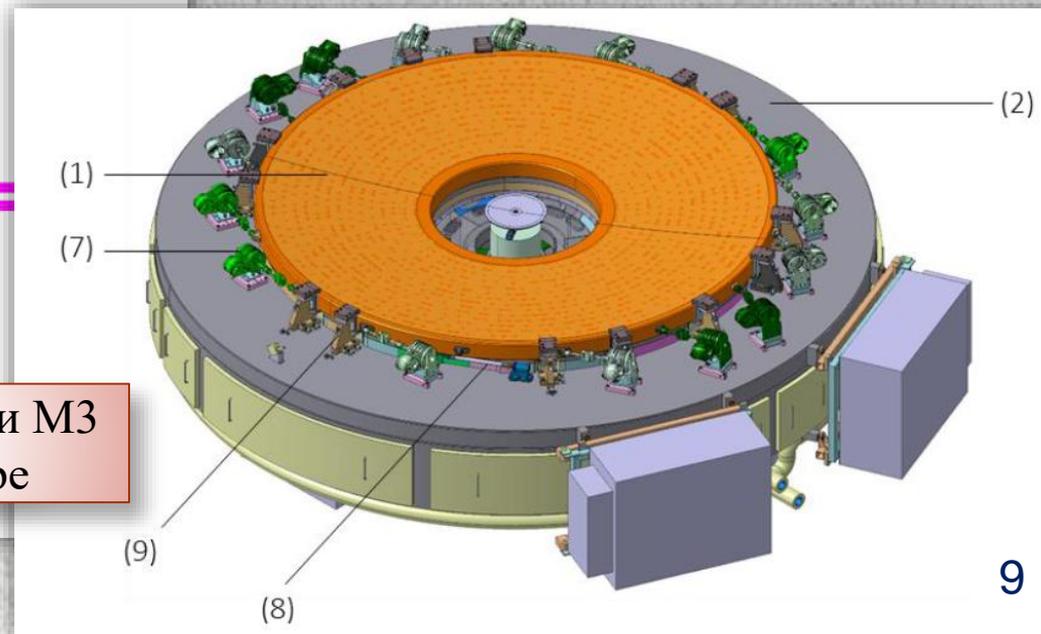
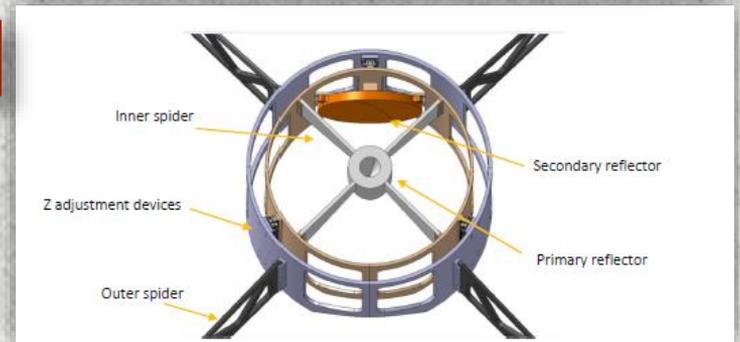
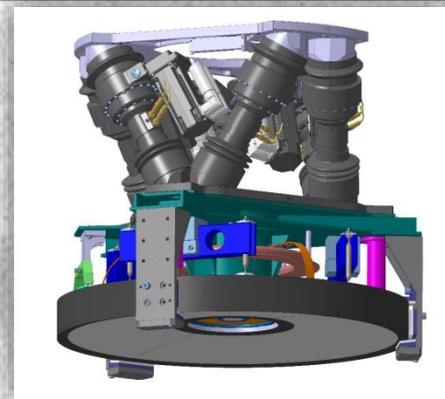
Расчетная оптическая схема телескопа



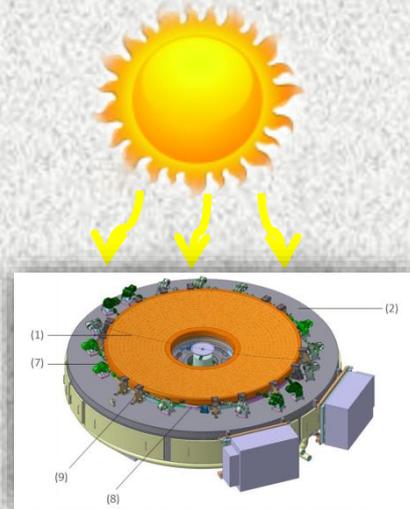
Узел M2 с гексаподом

Тепловая диафрагма

Узел M1 и M3 в сборе



Обеспечение теплового режима



Изображение в главном фокусе:

$\varnothing 56$ мм

6053 Вт

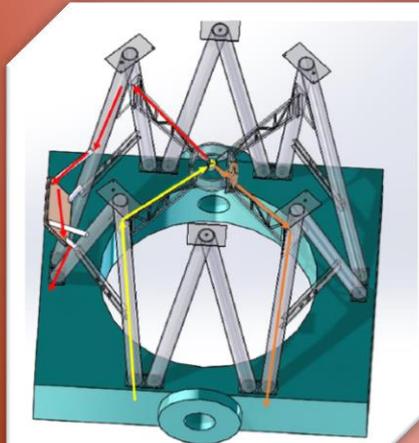
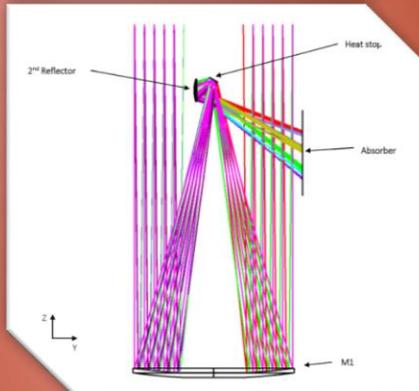
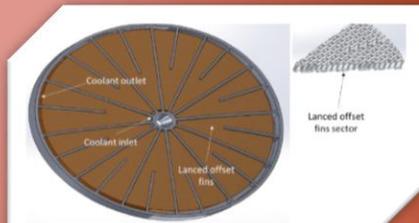
Изображение исследуемого участка Солнца: $\varnothing 3$ мм



Фокальные инструменты

29 Вт

Устройство тепловой диафрагмы



Купол телескопа

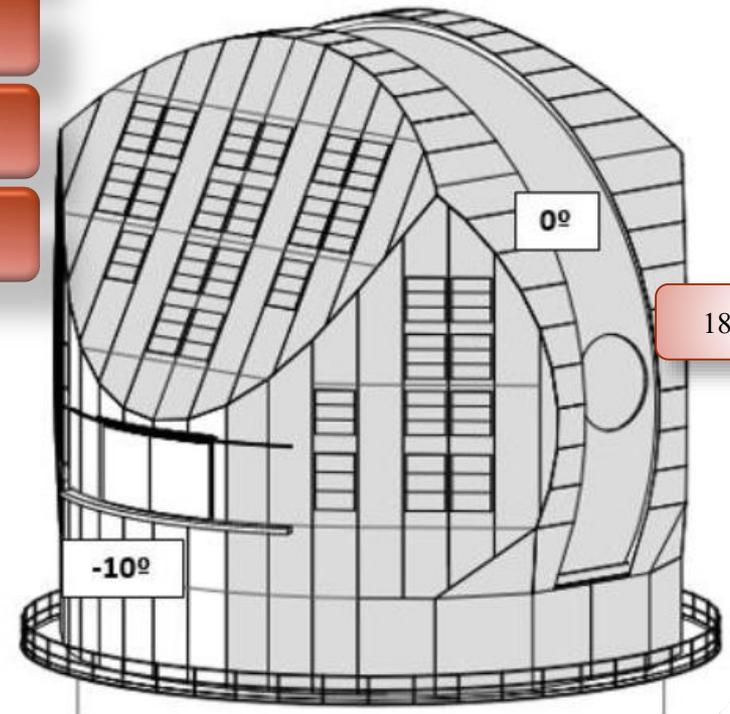
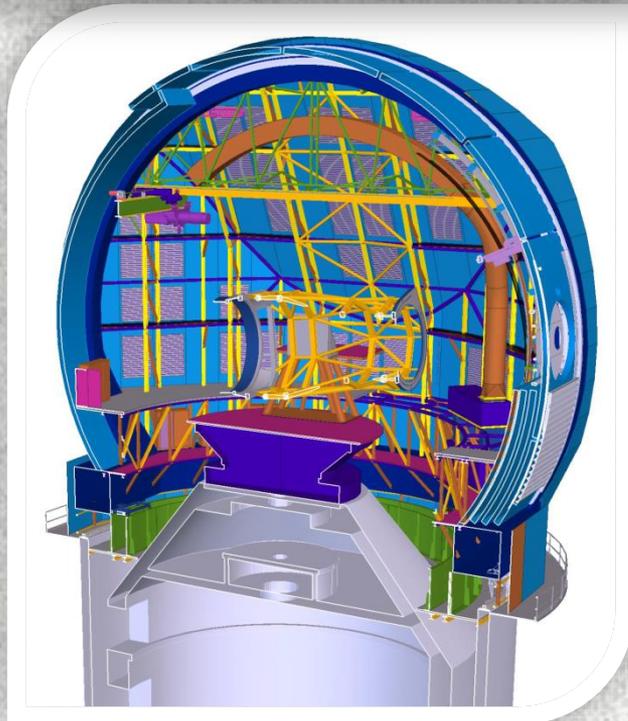
-Защита телескопа от внешней среды (снег, дождь, пыль, лед)

-Обеспечение теплового режима (отвод тепла ~60 кВт)

-Наименьший объем подкупольного пространства

-Вентиляция купола для наименьшего градиента температур

-Минимальная площадь, подвергающаяся солнечному излучению в часы наилучшего качества изображения



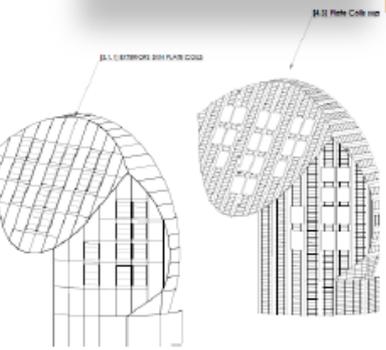
18 метров

22 метра

Термоконтроль подкупольного пространства для достижения наилучшего качества изображения

Система термоконтроля

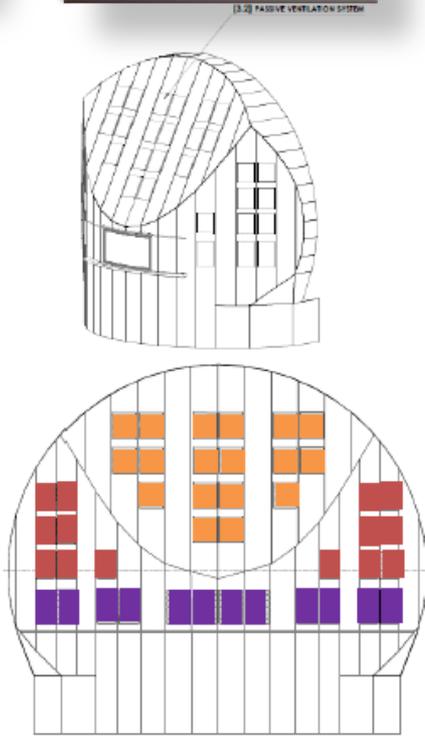
Охлаждение кожуха



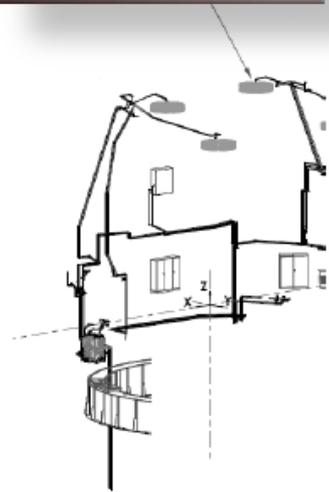
Активная вентиляция



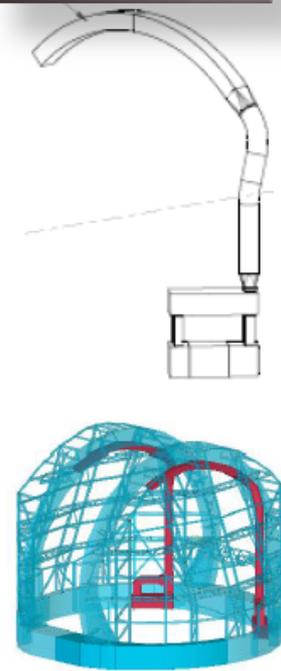
Пассивная вентиляция



Распределенная система охлаждения



Забор воздуха

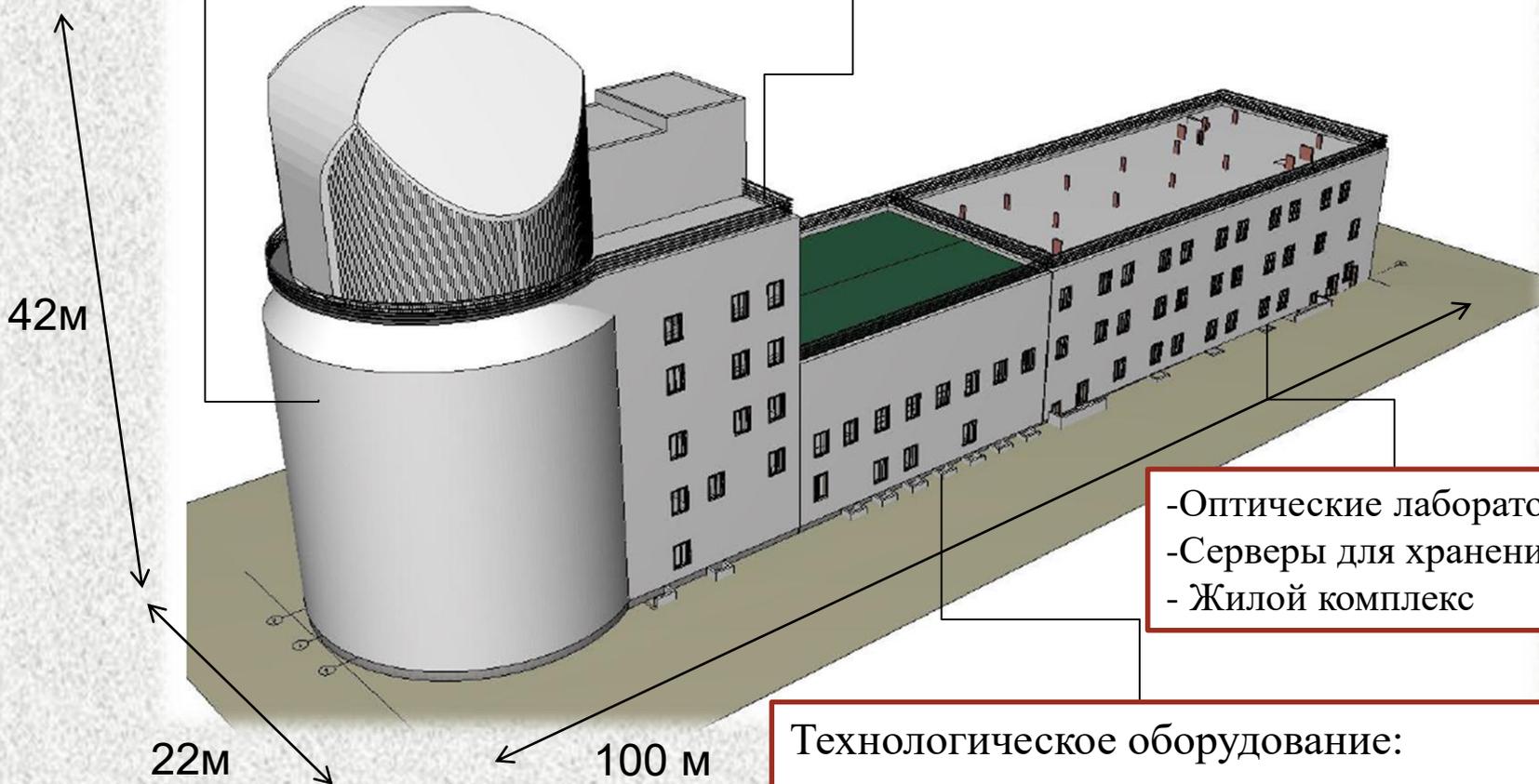


- поток воздуха: 2-5 м/с
- ΔТ с окружающей средой: ≤ 4°C

Телескоп и лабораторный комплекс

Башня телескопа

Управление телескопом



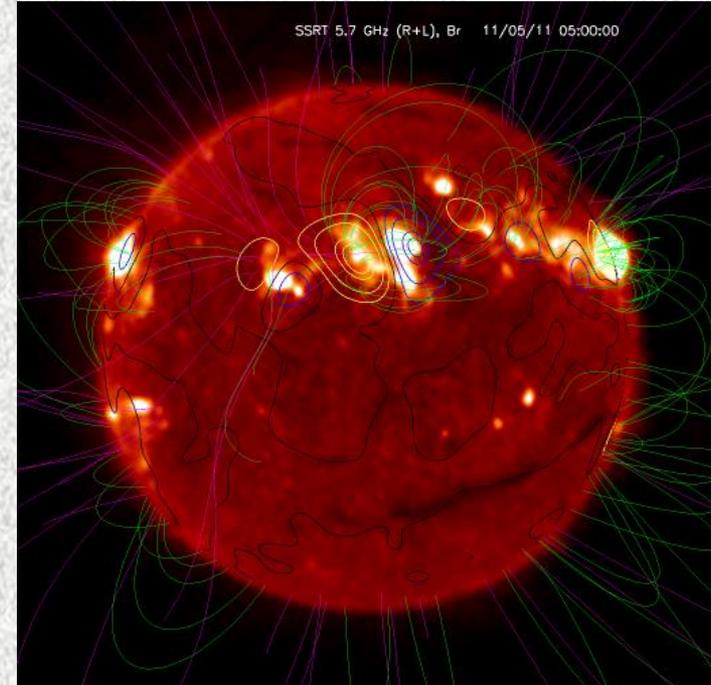
- Оптические лаборатории
- Серверы для хранения данных
- Жилой комплекс

Технологическое оборудование:
- вакуумная установка для нанесения отражающих покрытий на зеркала
- обслуживание узлов телескопа

Многоволновый радиогелиограф диапазон частот 3–24 ГГц



Создается на базе крупнейшего радиointерферометра России – 256-антенного Сибирского солнечного радиотелескопа, работающего на частоте 5.7 ГГц



Изображение Солнца на частоте излучения 5.7 ГГц: яркие области – места выхода сильных магнитных полей, в атмосфере которых образуются солнечные вспышки и выбросы корональной массы, возмущающие околоземную среду.

Фундаментальные и прикладные задачи

- Мониторинг солнечной активности с высоким спектральным, пространственным и временным разрешением в радиоизлучении
- Корональная магнитография
- Расположение и характеристики взрывных процессов в короне Солнца
 - Выбросы корональной массы
 - Потоки релятивистских электронов
 - Всплески мощного электромагнитного излучения
- Основы прогноза взрывных корональных процессов

Радиогелиограф 3–24 ГГц

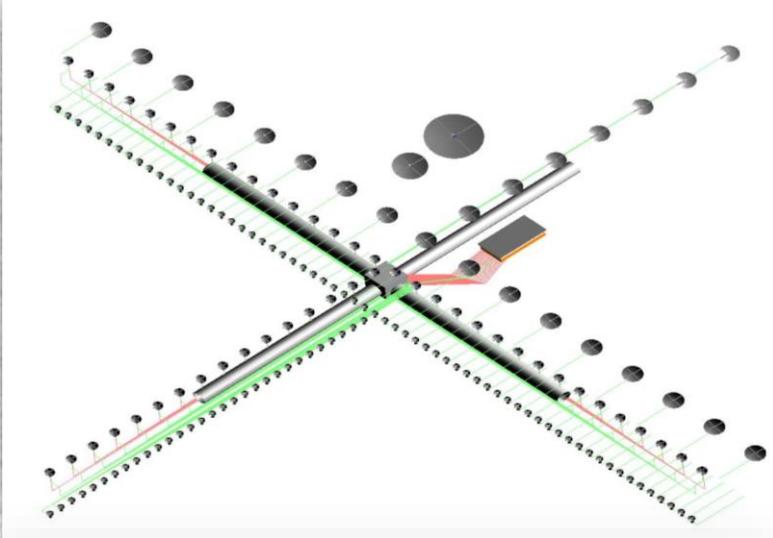
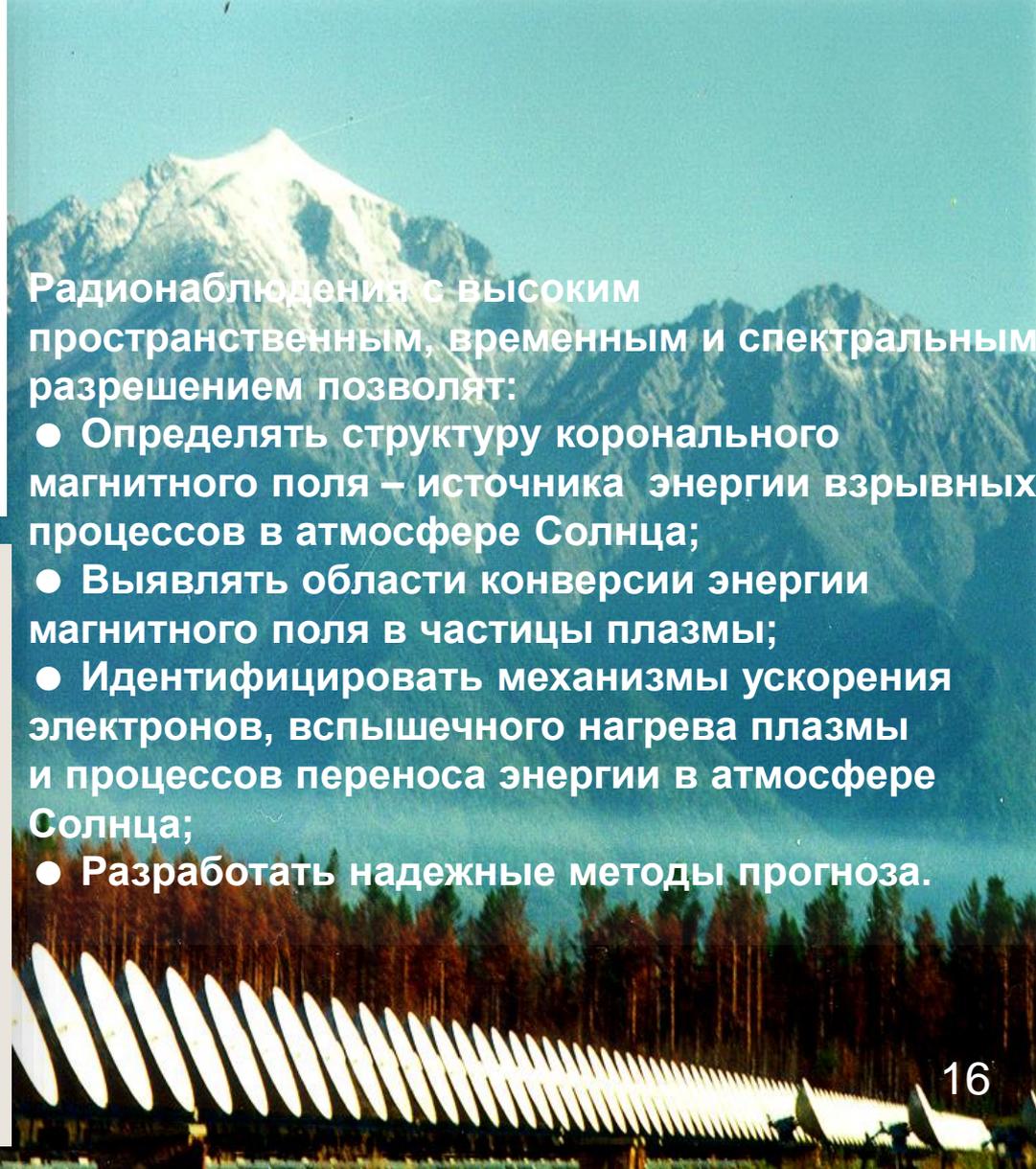


Схема антенного поля: три Т-образные
решетки с длиной луча до 1 км:
3–6 ГГц, диаметр антенн 3 м, 96 антенн
6–12 ГГц, диаметр 1.8 м, 192 антенны
8–24 ГГц, диаметр 1 м, 224 антенны

*Пространственное разрешение –
до 5 угл. сек на 6 ГГц,
временное – 0.01 сек,
Чувствительность до 100 К*



Радионаблюдения с высоким
пространственным, временным и спектральным
разрешением позволят:

- Определять структуру коронального магнитного поля – источника энергии взрывных процессов в атмосфере Солнца;
- Выявлять области конверсии энергии магнитного поля в частицы плазмы;
- Идентифицировать механизмы ускорения электронов, вспышечного нагрева плазмы и процессов переноса энергии в атмосфере Солнца;
- Разработать надежные методы прогноза.

3D модель многочастотного радиогелиографа.

Антенные решетки для диапазона частот:

3–6 ГГц, 6–12 ГГц, 12–24 ГГц.

Рабочее
здание

Техздание

Здания для проживания
сотрудников

Вспомогательные
здания



**3D модель многочастотного радиогелиографа
(ООО ОКП «АРС»). Три Т-образных антенных решетки
3–6 ГГц, 129 антенн, $D = 3.0$ м;
6–12 ГГц, 192 антенны, $D = 1.8$ м
12–24 ГГц 207 антенн $D = 1.0$ м**



Образцы опорно-поворотных устройств, изготовленные в рамках проектирования многочастотного радиогелиографа

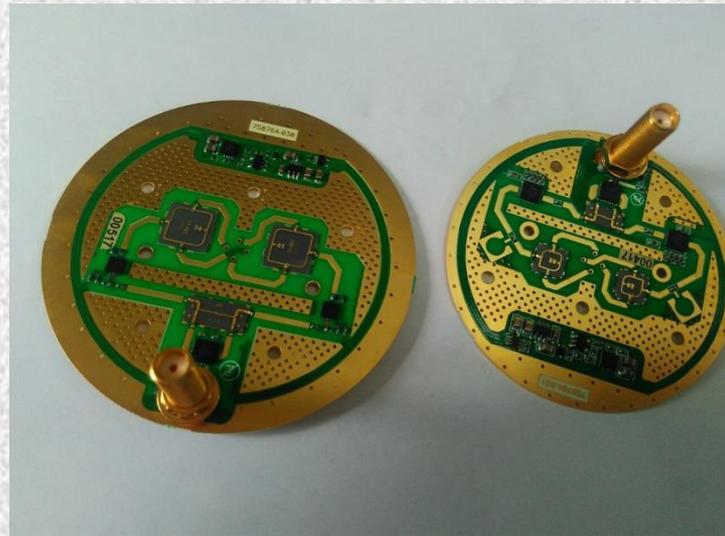
12–24 ГГц

6–12 ГГц

3–6 ГГц



Образцы приемных устройств, изготовленные в рамках проектирования многочастотного радиогелиографа (АО НПФ «Микран»)

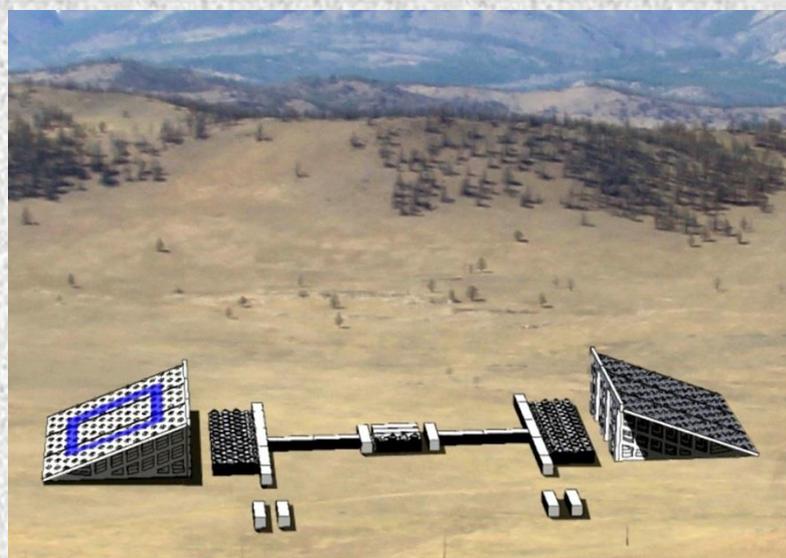
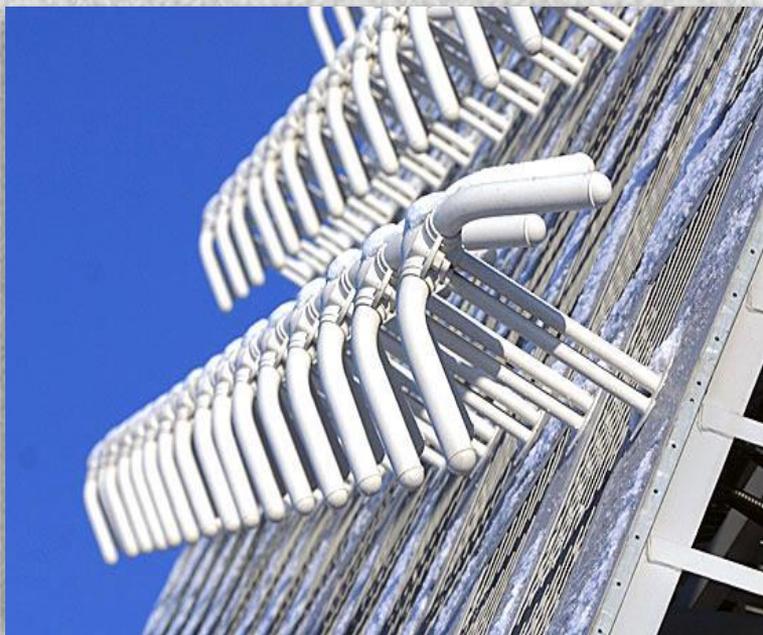


Многофункциональный мезосферно-стратосферно-тропосферный радар некогерентного рассеяния (НР-МСТ радар)

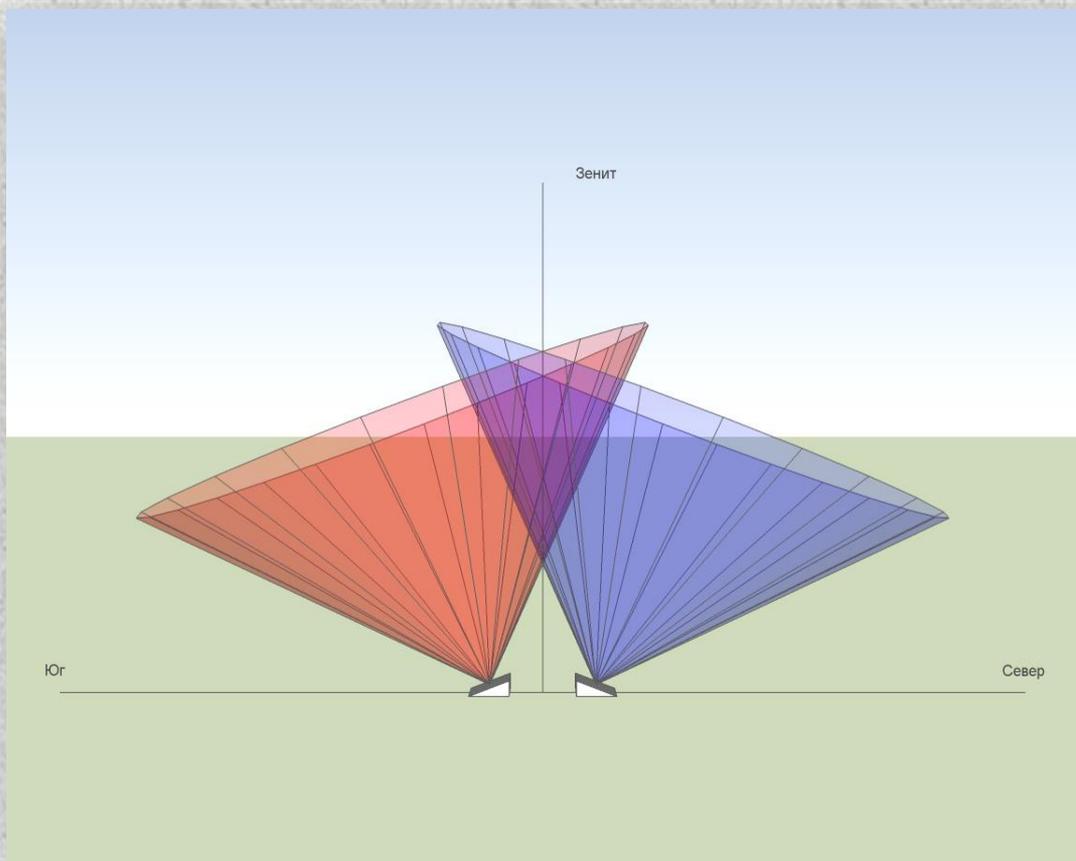
Основные задачи НР-МСТ радара:

- Измерение параметров нейтральной атмосферы в диапазоне высот 5–100 км. Контроль физических процессов и связей в системе литосфера–атмосфера.
- Наблюдения параметров плазмы на высотах 100–2000 км. Контроль физических процессов и связей в системе атмосфера–ионосфера–магнитосфера.
- Изучение процессов и геофизических последствий, возникающих в результате воздействия на ионосферную плазму мощным коротковолновым излучением. Разработка систем контроля событий искусственного воздействия на ионосферу. Контроль околоземного космического пространства. Наблюдения состояния и параметров движения космических аппаратов и исследование распределений космического мусора.
- Радиоастрономические наблюдения режиме излучения Солнца и космических радиоисточников.
- Экологический мониторинг атмосферы и циркуляционных процессов над поверхностью и вблизи озера Байкал.
- Разработка перспективных методов диагностики и прогноза состояния среды околоземного космического пространства.

Элементы проектируемого радара



Основные характеристики современного многофункционального НР-МСТ-радара



Конфигурация антенн НР-МСТ радара,
секторы сканирования

Основные технические характеристики:

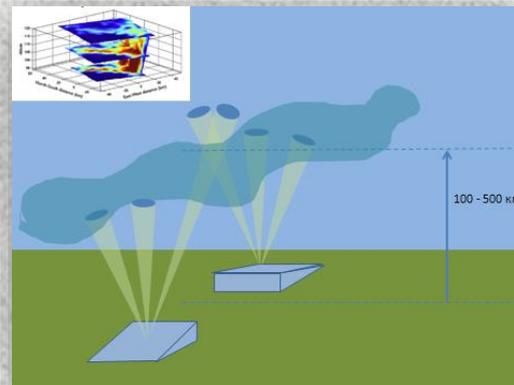
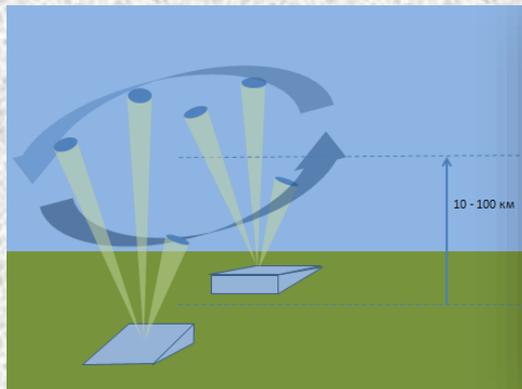
1. Рабочая частота ~ 160 МГц
2. Пиковая мощность излучения – 2 МВт
3. Заполненность цикла излучения – 33 %
4. Ширина полосы приема – до 5 МГц
5. Длительность импульса – 10–5000 мкс.
6. Частота повторения – 75–2000 Гц
7. Модуляция импульсов произвольная.
8. Поляризации – правая и левая круговые
9. Тип антенны – фазированная решетка

Конфигурация антенной системы

обеспечивает максимальный пространственный охват области зондирования и создает условия для проведения интерферометрических измерений. С этой целью антенная система НР-МСТ радара разбита на два поля размерами $\sim 40 \times 40$ м с расстоянием между ними 100 м в направлении магнитного меридиана.

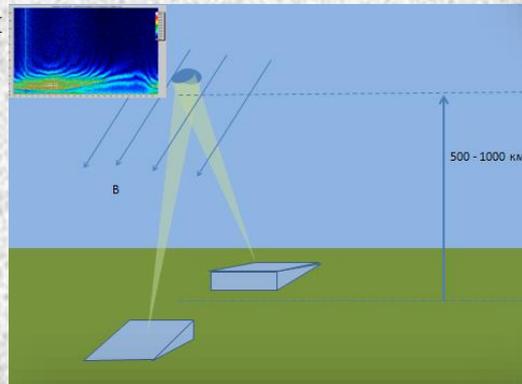
Основные режимы работы НР-МСТ радара

Диагностика динамики
в нижней и средней
атмосфере методом МСТ.
Экология оз. Байкал
Высоты 10–100 км.



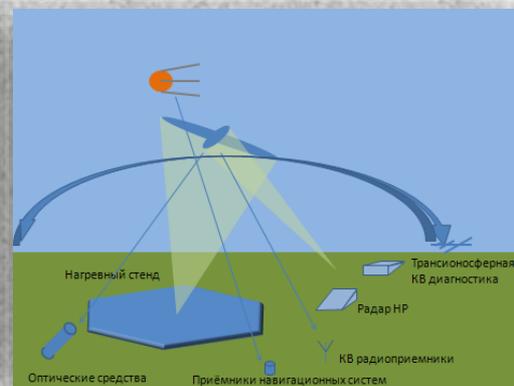
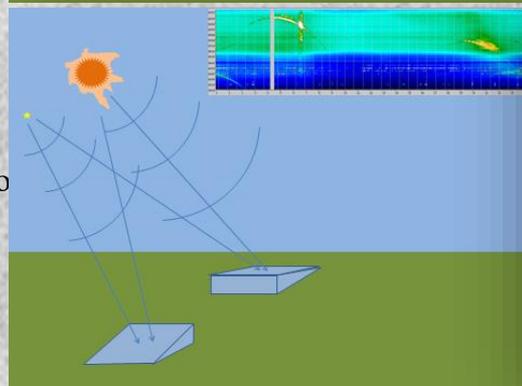
Изучение взаимодействий
в системе атмосфера–
ионосфера методом НР.
Многопараметрическая
диагностика ионосферной
плазмы.
Интерферометрия
и радиоголография
Высоты 100–500 км.

Изучение взаимодействий
в системе
ионосфера–плазмосфера.
Определение вариаций
ионного состава и
направлений потоков
плазмы.
Высоты 500–2000 км.



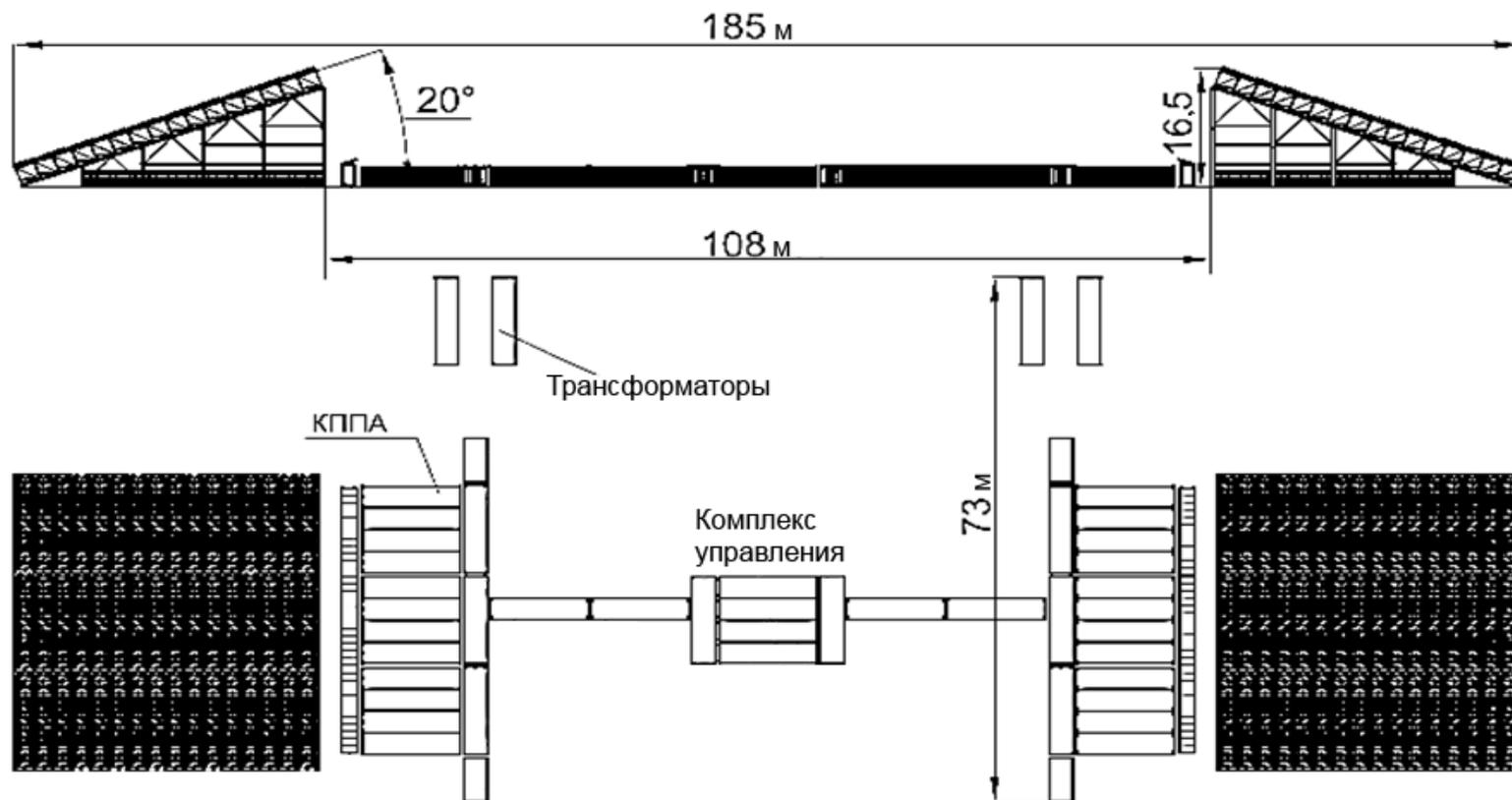
Наблюдение космических
аппаратов и «космического
мусора».
Разработка методов
повышения точности и
информативности контроля
космического пространства
Высоты 100–5000 км.

Радиоастрономические
наблюдения излучения
Солнца и космических
Радиоисточников метрового
диапазоне.
Изучение радиобурь
и мерцаний
радиосигналов.



Комплексная диагностика
явлений, возникающих
при мощном
высокочастотном
воздействии на ионосферу

Расположение составных частей НР-МСТ радара



- Два антенных полотна с размерами 40 x 40 м, расстояние между полотнами – 100 м.
- На каждом полотне по 1536 крест-вибраторов.
- Модульная структура, каждый модуль помещается в контейнер с размерами 13,5 x 3,2 x 3 м и весом до 35 т.
- 24 комплекса приемо-передающей аппаратуры (КППА), по 12 на каждое антенное полотно.
- Комплекс управления и цифровой обработки сигналов (КПО).
- 4 трансформаторных подстанции.

Комплекс приемо-передающей аппаратуры НР-МСТ радара



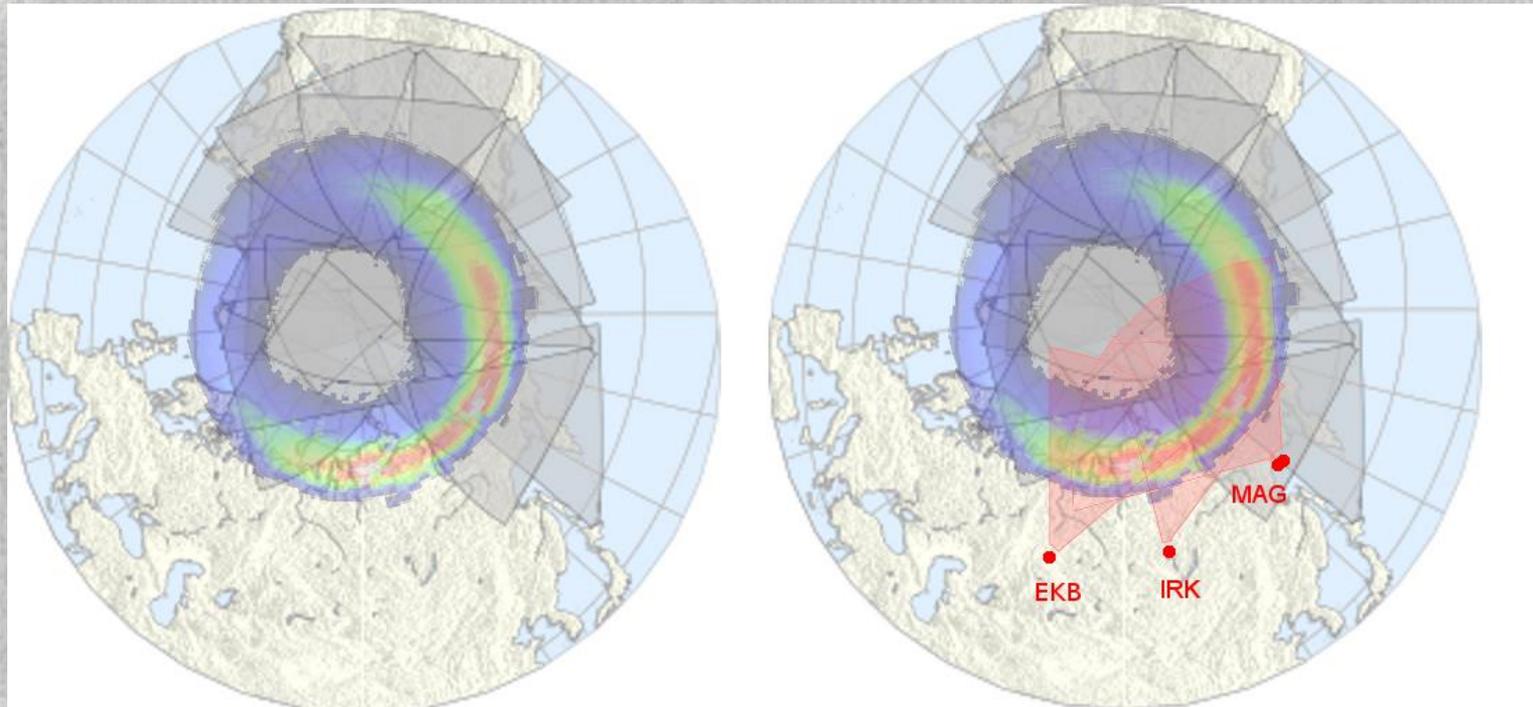
Внешний вид комплекса приемо-передающей аппаратуры (КППА), всего 24 модуля.

Вес каждого контейнера до 35 т, размеры 13,5 x 3,2 x 3 м.

Основные функции одного модуля:

- передача радиосигналов излучения на 128 крест-вибраторов АФУ,
- прием радиосигналов с 256 элементов АФУ (вертикальная и горизонтальная поляризации),
- цифровое преобразование сигналов и формирование диаграммы направленности антенны.

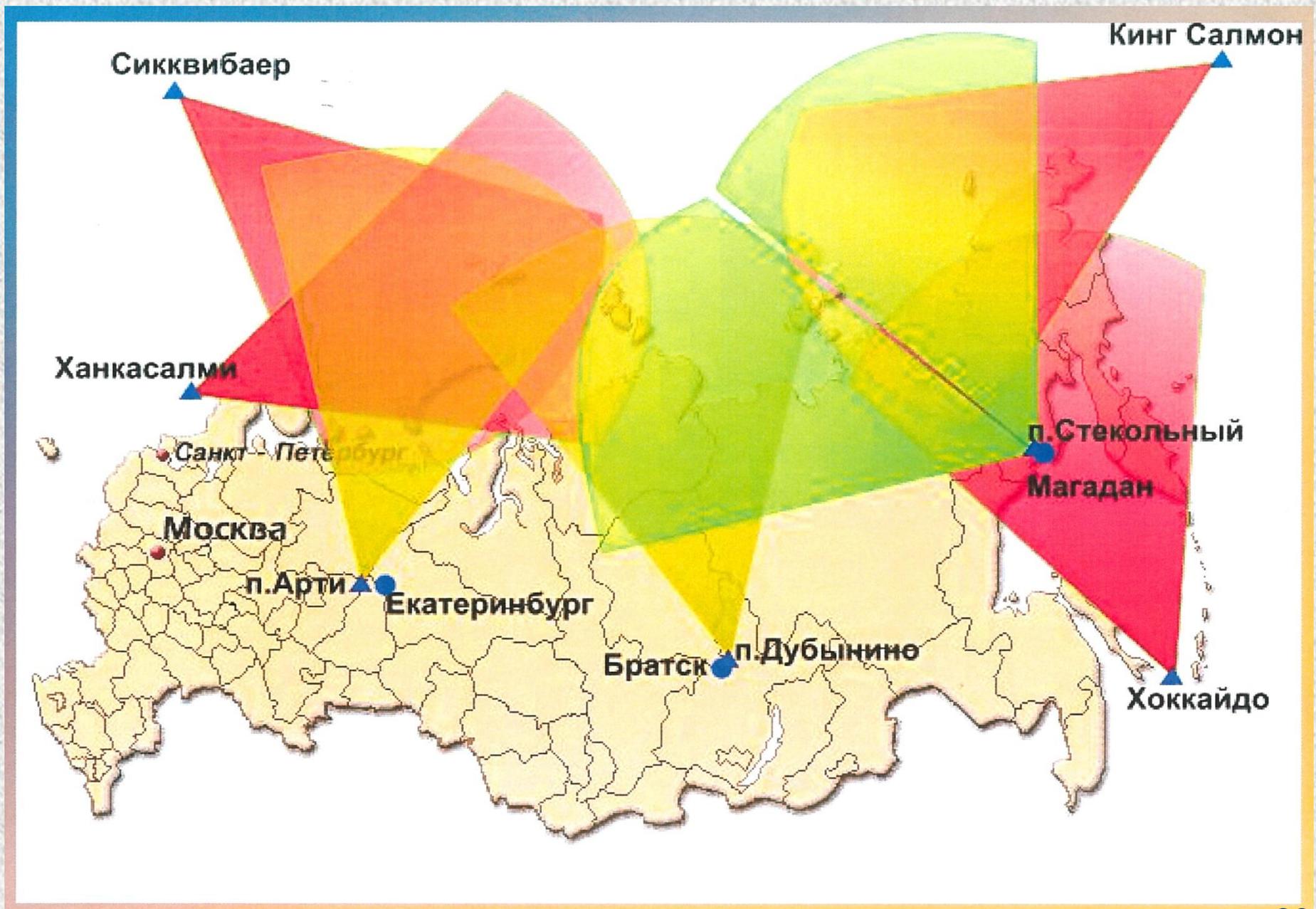
КВ когерентные радары



Мировая сеть радаров SuperDARN предназначена для мониторинга процессов в высокоширотной ионосфере, особенно в зоне полярного овала, наиболее чувствительного к процессам солнечно-земного взаимодействия. Примерное положение полярного овала (цветная область) и сектора обзора радаров существующей международной сети (серые сектора) приведены на рисунке слева.

Виден большой долготный пробел в секторах покрытия, связанный с отсутствием подобных радаров на территории России.

Задачей проекта является создание и развертывание 4-мобильных когерентных радаров на территории России, позволяющих замкнуть мировую цепочку станций вокруг арктического региона и проводить круглосуточный мониторинг процессов в высокоширотной ионосфере. Возможные сектора контроля российских радаров обозначены красным цветом.



Когерентные радары нового типа

В рамках выполнения мегапроекта в ИСЗФ СО РАН разрабатывается когерентный радар нового типа. Структура радара определена на этапе выполнения Аванпроекта.

Основные отличия новых радаров от стандартных радаров SuperDARN:

1. Расширение режимов работы по сравнению со стандартным радаром - расширение диапазона рабочих частот и типов используемых сигналов;
2. Фазированная решетка нового типа позволяет расширить сектор обзора и улучшить определение углов места прихода сигналов (развернута в Магаданской области, готовится к тестированию в 2017 г.);
3. Полностью цифровая система приема-передачи, расширяющая возможности по использованию типов зондирующих сигналов и видов обработки принятых сигналов (в стадии тестирования);
4. Более широкополосные и многофункциональные передатчики, способные поддерживать новые режимы работы радара (в стадии тестирования).

Когерентные радары нового типа: антенная решетка



Апробация нового типа антенной решетки будет вестись на стандартном радаре в Магаданской области со стандартными антеннами (планируется к запуску в 2017 г., вид приведен на фотографии).

Диапазон частот	4.5–25МГц
Антенная система	24 антенны
Фазированная решетка	
двумерная	230×100 м
Высота подвеса антенн	до 20 м
Антенны логопериодические	
в стадии разработки	
Сектор сканирования	
По азимуту:	50°
По углу места:	изотропная
Ширина лепестка диаграммы	
направленности	
по азимуту	3°–6°

Когерентные радары нового типа: аппаратура



Планируемый общий вид аппаратуры радара

Аппаратура разрабатываемого радара включает в себя

1 стандартную аппаратную стойку с системой управления радара и системой фазирования;

4 стандартные аппаратные стойки с передатчиками.

Передатчики разрабатываются ООО НПО Иртыш СРС

Характеристики одного передатчика:

Диапазон частот 1.5–30МГц

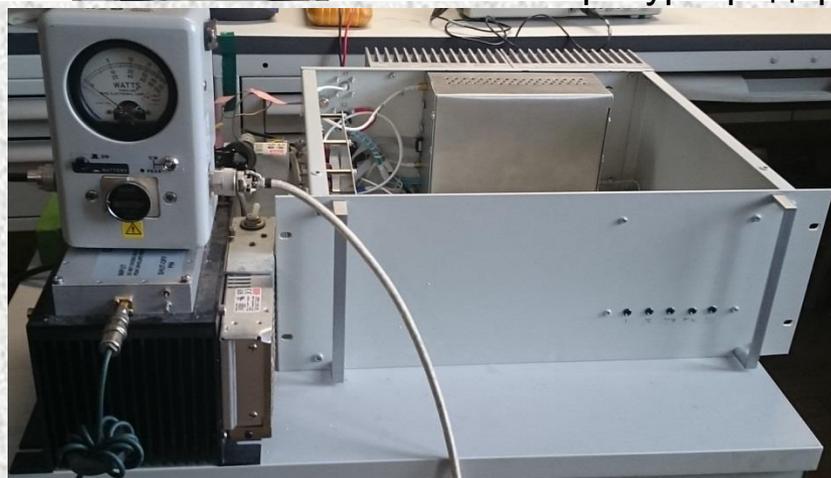
Выходная мощность – управляемая, в зависимости от режима работы:

пиковая – до 600 Вт

средняя – до 200 Вт

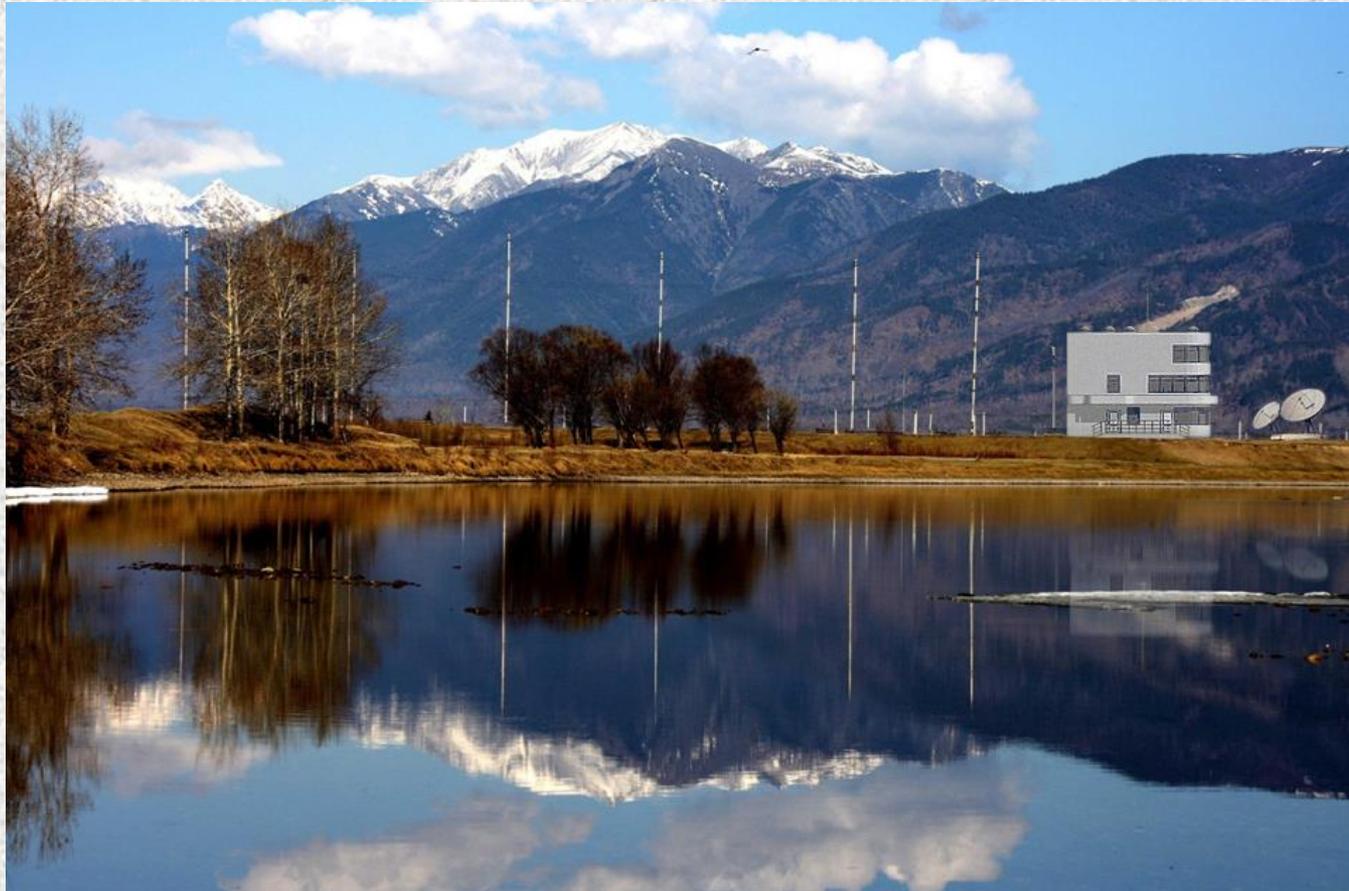
Предусилитель – MiniCircuits (США)

Система формирования, фазирования, управления и обработки сигналов – на базе аппаратуры National Instruments (США).



Тестовые испытания передатчиков радара

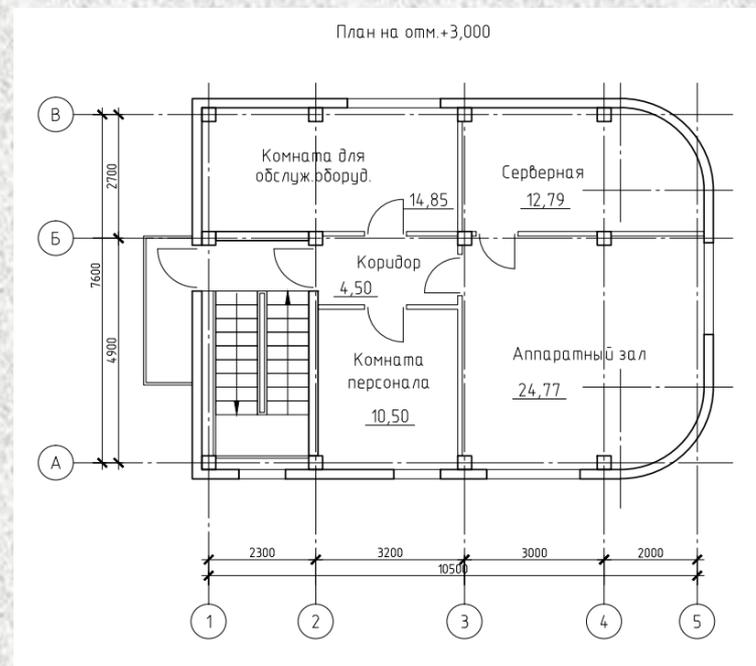
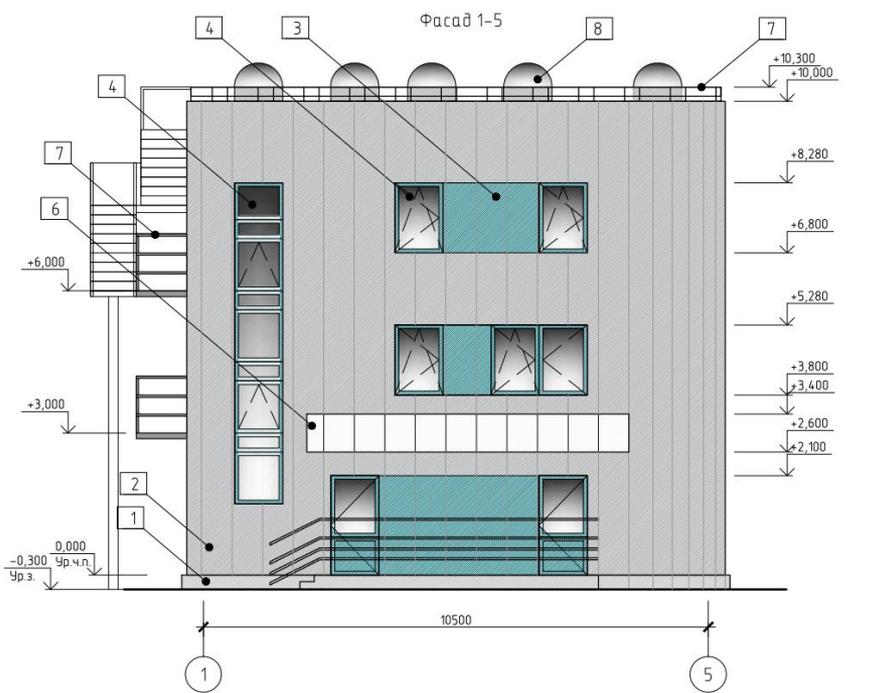
Комплекс оптических инструментов



Комплекс оптических инструментов предназначен для исследования свечения ночной атмосферы Земли в широком спектральном диапазоне. Регистрация свечения необходима для определения структуры и динамики атмосферы, создания моделей атмосферы для предсказания поведения её параметров на различных временных интервалах. В настоящее время подготовлен проект для обновления инфраструктуры геофизической обсерватории, ведутся наблюдения на макетах и опытных образцах инструментов и вспомогательных устройств комплекса.

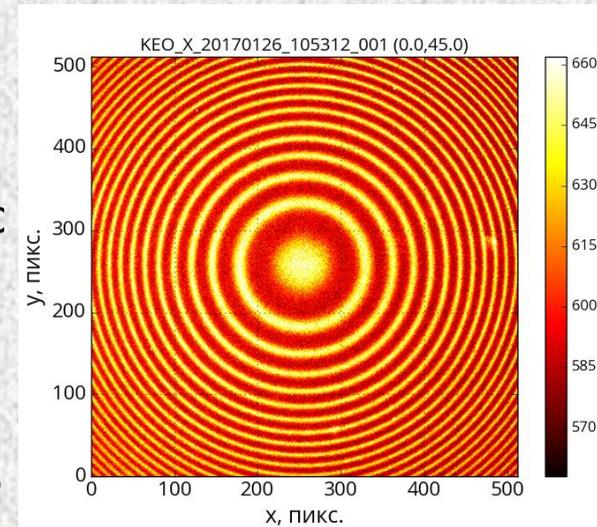
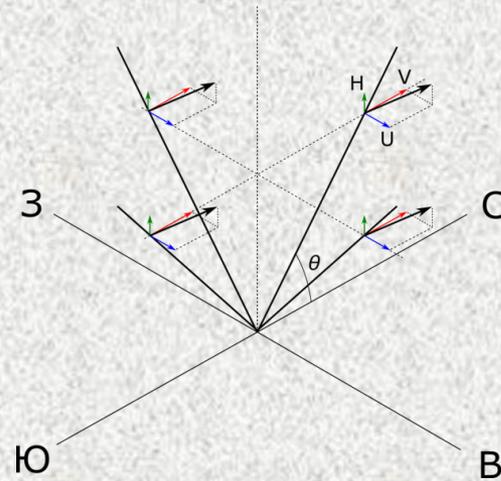
Техническое здание

Техническое здание предназначено для размещения научного оборудования и персонала ведущего наблюдения.



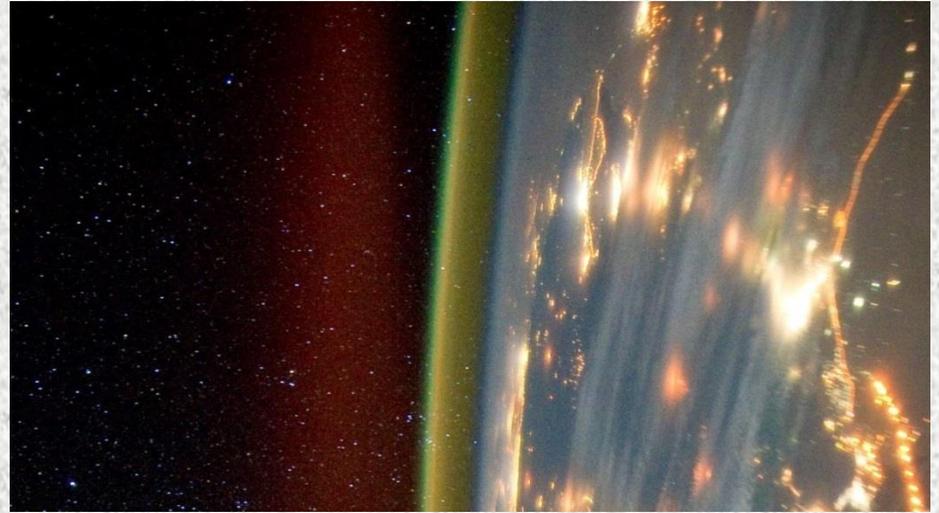
Интерферометр Фабри—Перо

предназначен для исследования структуры ветра и температуры верхней атмосферы по наблюдению смещения и уширения спектральных линий.





Широкоугольная камера
для регистрации пространственного
распределения свечения ночного неба
в различных спектральных диапазонах



Shamrock 500

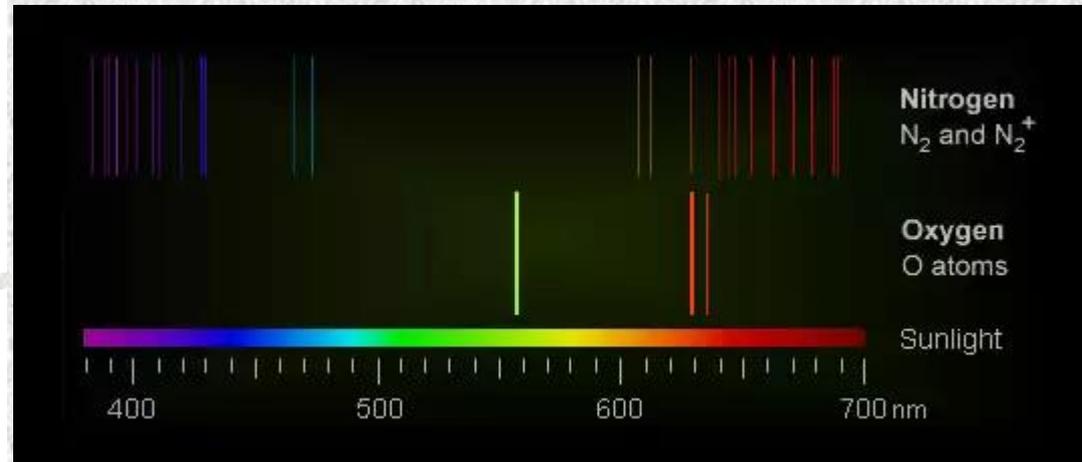


Shamrock 750



Спектрографы

для количественного исследования интенсивностей различных спектральных линий и их динамики



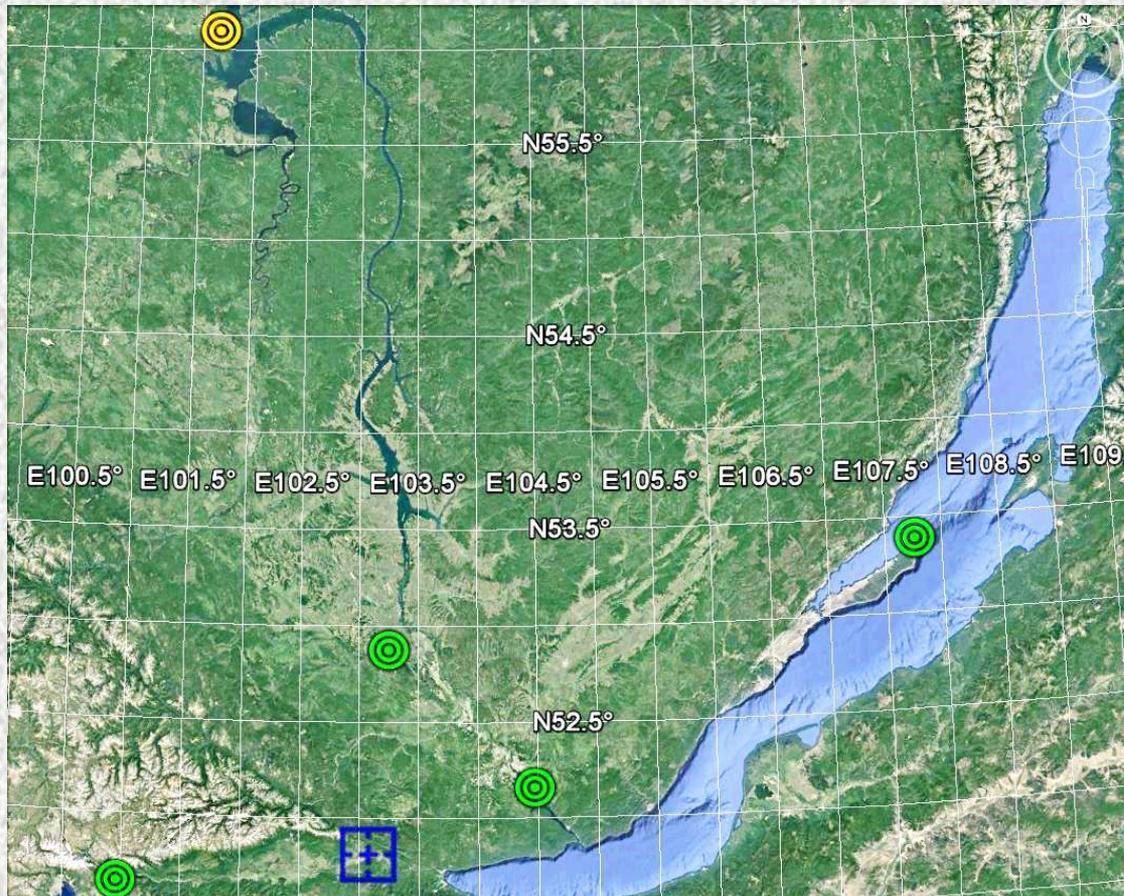
Фотометры

для исследования быстрой динамики интенсивности свечения ночного неба и точного количественного определения светового потока

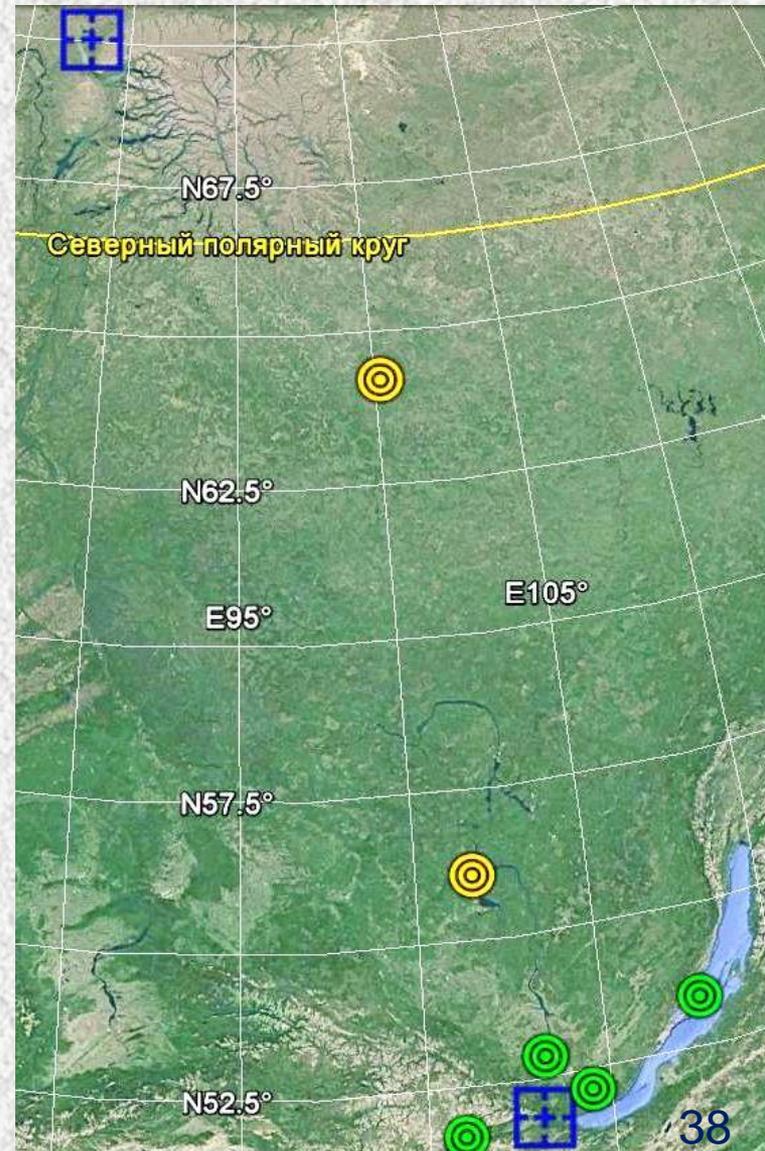


Развитие оптического комплекса

Региональная сеть наблюдательных пунктов



Расположение наблюдательных пунктов вдоль меридиана



Существующие наблюдательные пункты



Размещение устройств в течение месяца



Размещение устройств в течение года

Мезосферно-стратосферный лидар (МС-лидар)



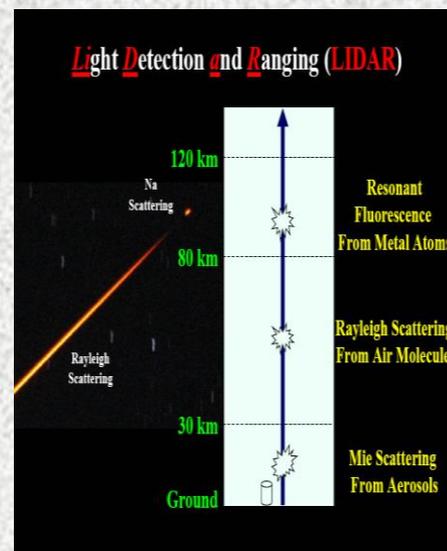
Измеряемые параметры:

- температура
- скорость и направление ветра
- плотность
- аэрозоли в страто- и мезосфере
- оптические свойства слоя Na в мезосфере
- озон в стратосфере

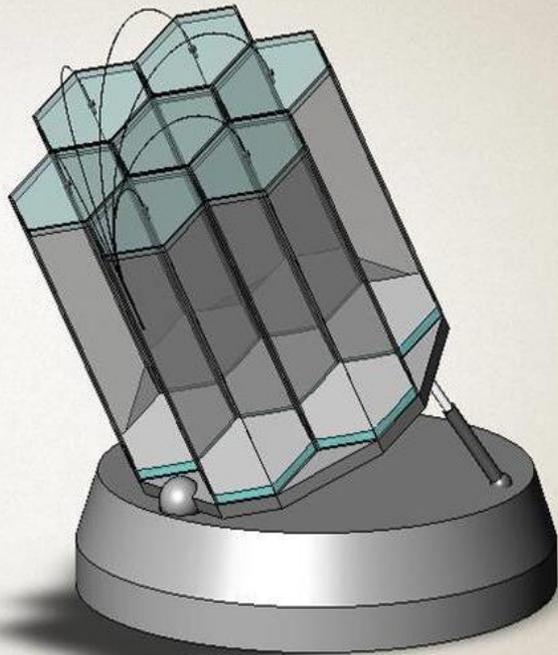
Исследуемые высоты: до 100–120 км

Используемые эффекты взаимодействия лазерного излучения с атмосферной средой:

- упругое (Ми, молекулярное (Рэлей) рассеяние
- комбинационное (Раман) рассеяние
- дифференциальное поглощение
- резонансное рассеяние (флуоресценция)



Принцип построения приемной антенны МС-лидара с площадью 4,7м²



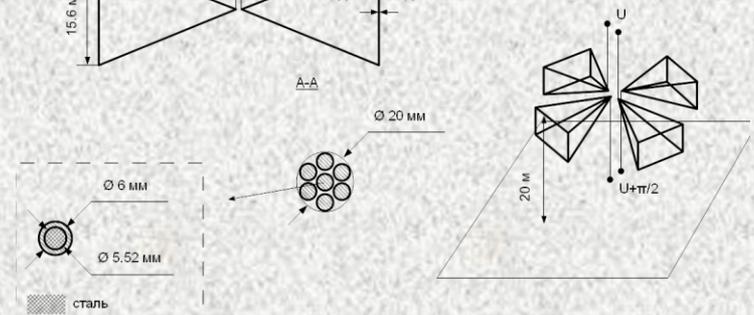
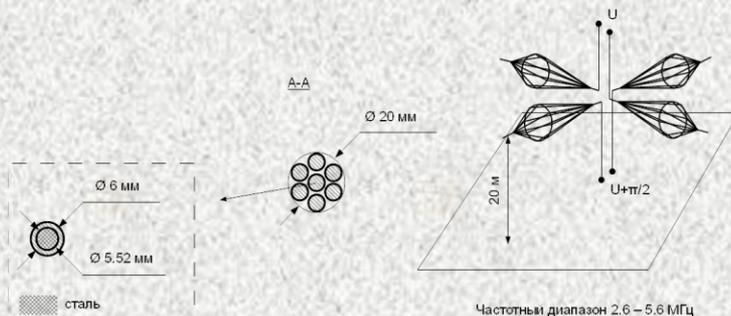
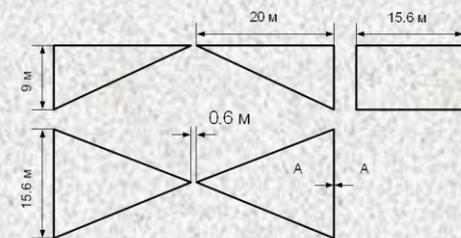
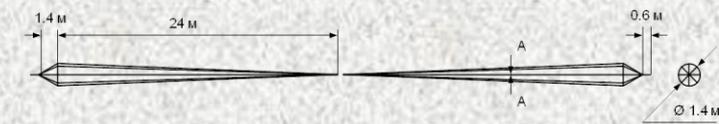
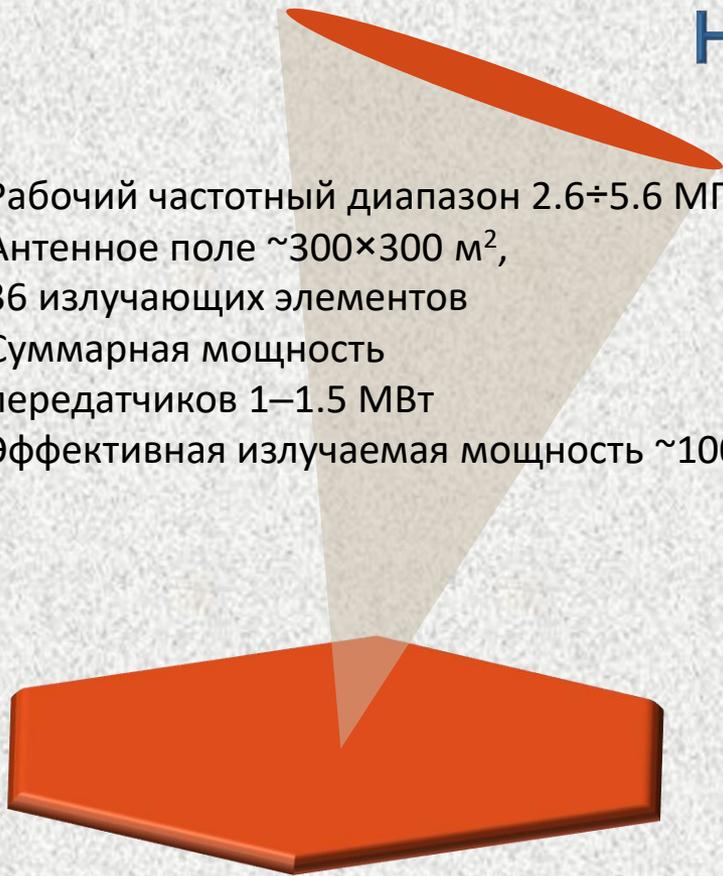
Матрица из шести зеркал, с диаметром 1м каждое, объединяется конструктивно в единый блок, который допускает наклон до 30° без рассогласования коллинеарности направлений оптических осей зеркал. Наклон осуществляется гидравлическим домкратом (справа) вокруг шарнира (слева). Сведение световых потоков на один приемник или спектральный прибор осуществляется световодами, торцы которых располагаются в фокальной плоскости. Положение торца световода на фокальной плоскости определяет направление диаграммы направленности антенны, с которым согласуется направление соответствующего лазерного пучка. В фокальной плоскости каждого зеркала можно расположить несколько световодов. Соответственно с ними будет сопряжено несколько лазерных пучков. В этом состоит принцип многолепестковой диаграммы направленности, позволяющий использовать антенну для одновременной работы нескольких каналов зондирования. Платформа, на которой установлена антенна, должна вращаться вокруг вертикальной оси. Это требование следует из необходимости измерения горизонтальной компоненты скорости ветра минимум по двум азимутальным направлениям.

Нагревный стенд

Нагревный стенд (НС) предназначен для исследования заряженной компоненты атмосферы – ионосферы – методом резонансного поглощения КВ-радиоволн. Воздействие на ионосферу мощным КВ-излучением позволяет исследовать поведение плазмы и процессы переноса энергии в ионосфере, атмосфере и магнитосфере Земли. Активные эксперименты позволяют моделировать эффекты магнитных бурь и высыпаний, метеорологические эффекты и т. д. НС будет работать в составе Байкальской обсерватории мониторинга состояния атмосферы в Тажеранских степях, совместно с радаром некогерентного рассеяния и лидаром.

В настоящее время подготовлен эскизный проект установки, ведется поиск подрядчиков для дальнейшего проектирования и строительства.

Рабочий частотный диапазон 2.6÷5.6 МГц
Антенное поле $\sim 300 \times 300 \text{ м}^2$,
36 излучающих элементов
Суммарная мощность передатчиков 1–1.5 МВт
Эффективная излучаемая мощность $\sim 100 \text{ МВт}$.



Спасибо за внимание!

