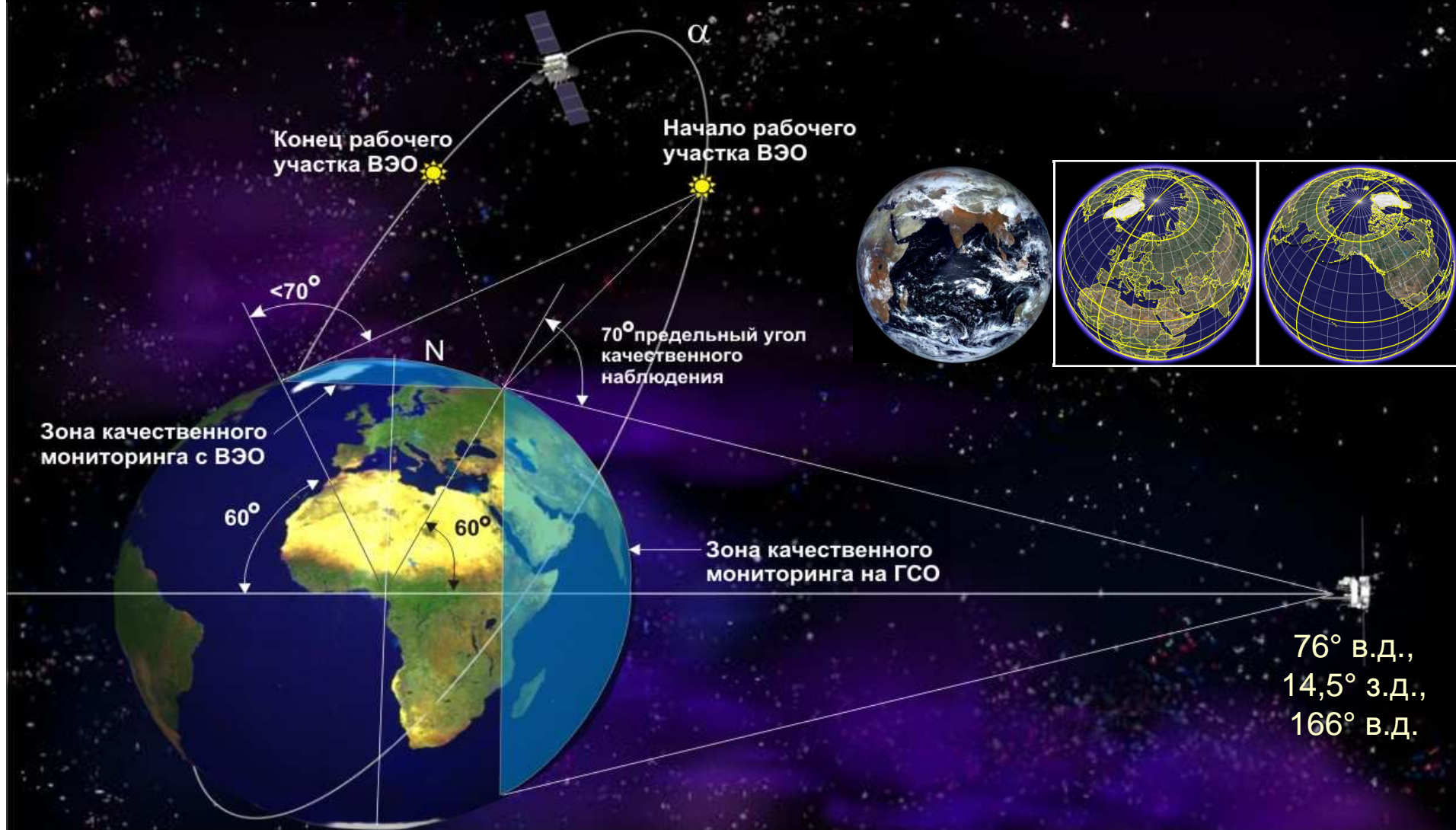


**Научно-мониторный комплекс «АВРОРА+»
для фундаментальных исследований
солнечно-земных связей и их проявлений в
полярных областях Земли
проект «ЭЛЕКТРО-ВО»**

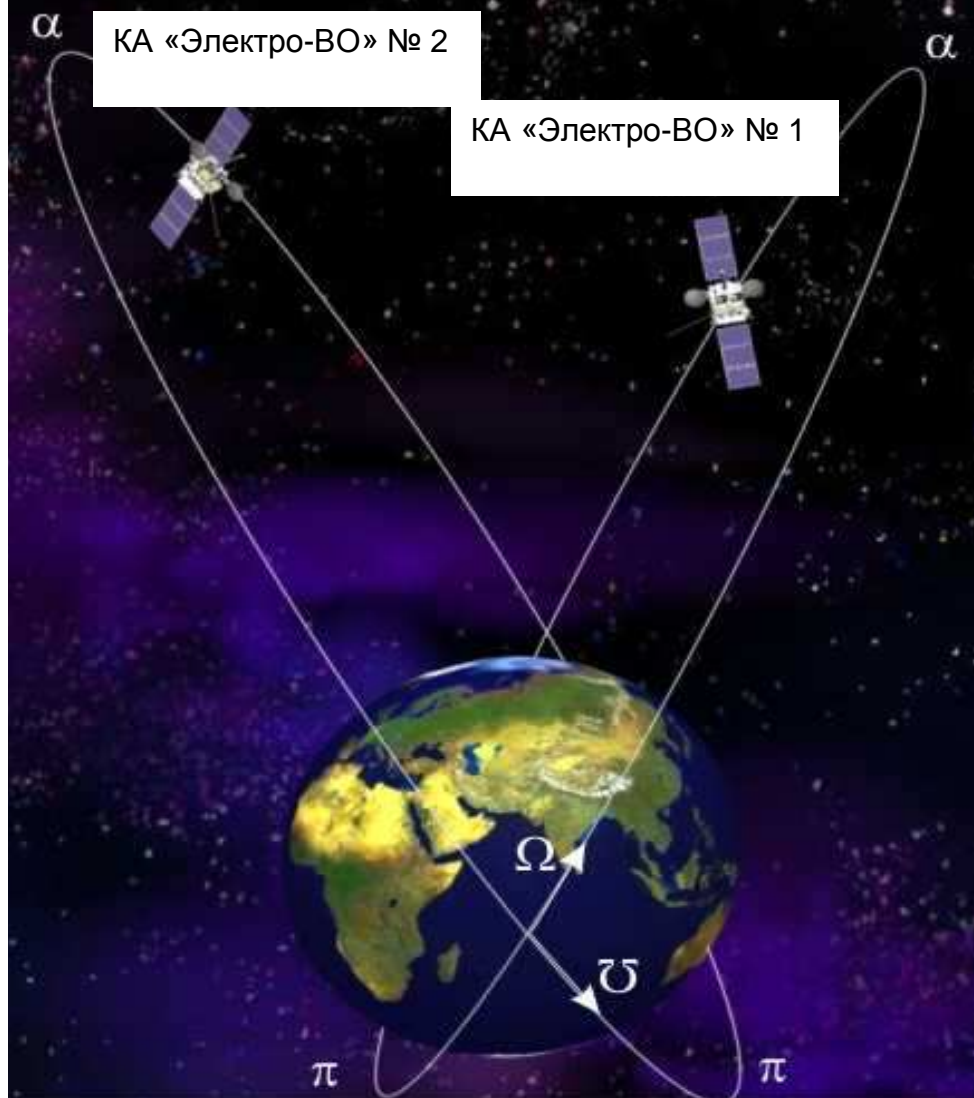
Зеленый Л.М., Григоренко Е.Е., Петрукович А.А., Веригин М.И., Могилевский М.М., Скальский А.А., Вайсберг О.Л., Кузьмин А.К, Григорьев А.Ю.

Предложение ИКИ РАН

Проект «АРКТИКА»: совместные наблюдения с геостационарной и с высокоэллиптической орбит



Баллистическое построение КС «Электро-ВО»



Параметры орбит КА:

- высота апогея (α) ~ 38868 км;
- высота перигея (π) ~ 1500 км;
- наклонение (i) ~ 62,8°;
- период обращения - 12 часов
- количество РУ в сутки - 2

Расположение рабочих участков орбит:

- начало рабочего участка для каждого КА за 3,5 часа до прохождения апогея;
- конец рабочего участка - через 3,5 часа после прохождения апогея;
- относительное смещение начала рабочих участков орбит КА № 1 и КА № 2 на 6 часов.

Взаимное расположение орбит КА:

с совпадением восходящего узла орбиты КА № 1 и нисходящего узла орбиты КА № 2

Космическая система «Электро-ВО»

Эскизный проект КС «Электро-ВО» предусматривает создание гидрометеорологической космической системы из двух одинаковых высокоорбитальных КА, предназначенных для комплексного решения гидрометеорологических задач и информационного обеспечения на широтах выше 60° с.ш., недоступных для наблюдения с геостационарной орбиты.

Основные задачи космической системы:

Получение информации для анализа и прогноза:

- погоды в региональном (Арктика) и глобальном масштабе;
- ледовой обстановки в морях Северного Ледовитого океана;
- условий для полетов авиации (облачность, ветер, струйные течения и др.);
- снежного покрова;
- **гелиогеофизической обстановки в околоземном космическом пространстве**

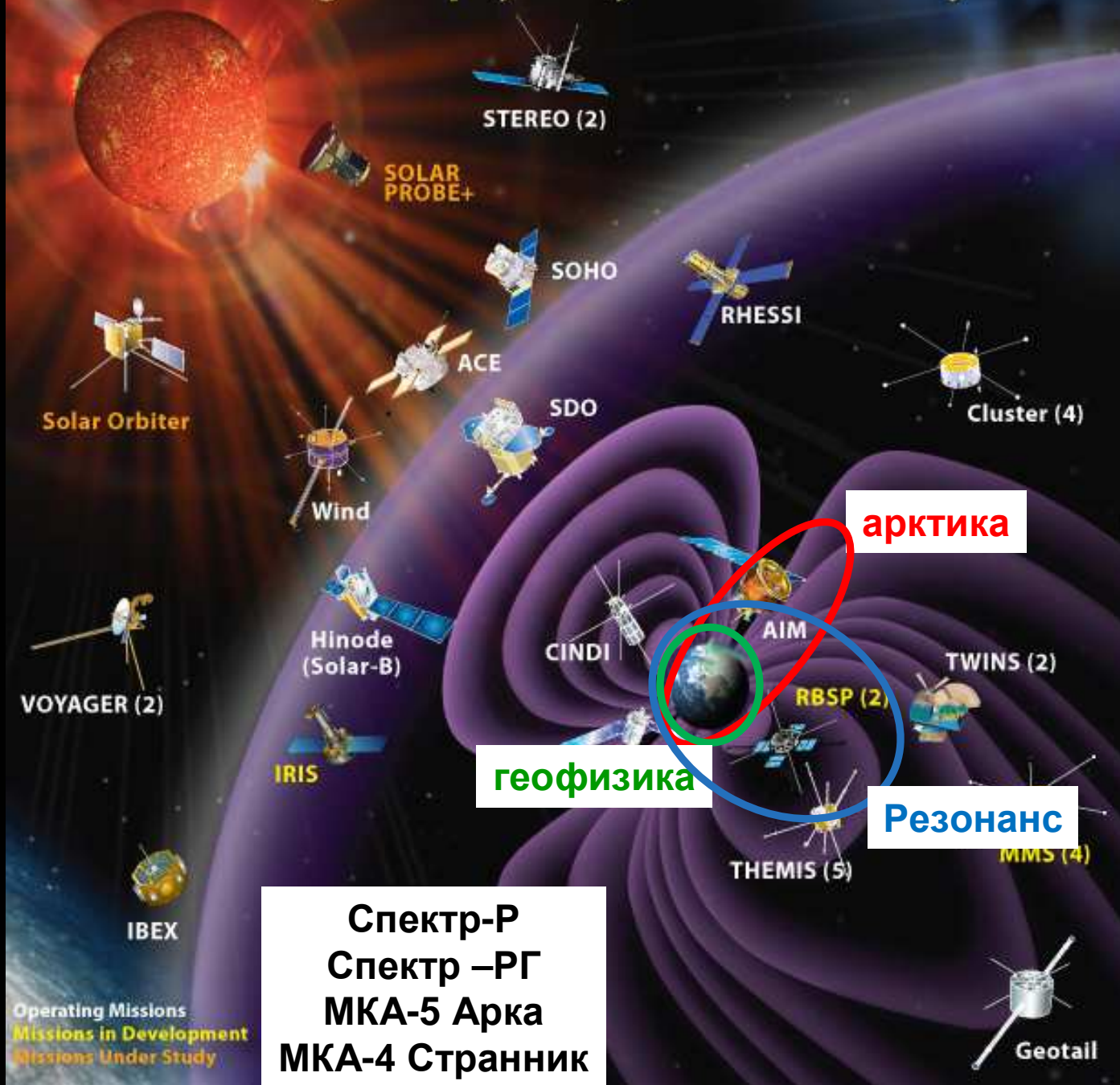
Мониторинг чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения

Мониторинг климата и глобальных изменений

Сбор и ретрансляция информации с наблюдательных платформ наземного, морского и воздушного базирования

Обмен и распространение обработанных гидрометеорологических и гелиогеофизических данных

Evolving Heliophysics System Observatory



арктика

геофизика

Резонанс

Спектр-Р
Спектр –РГ
МКА-5 Арка
МКА-4 Странник

Operating Missions
Missions in Development
Missions Under Study

Основные требования

КС «Электро-ВО»

Наименование	Значение
Количество аппаратов	2
Орбита	Высокоэллиптическая типа "Молния"
Длительность рабочего участка	6,4 часа
Общее число спектральных каналов	10
Диапазон длин волн, мкм	0,5 – 12,5
Пространственное разрешение:	
- в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах	1 км 4 км
- в инфракрасном диапазоне	
Периодичность съемки:	
- в штатном режиме	до 30 мин
- в учащенном режиме	до 15 мин
Срок активного существования КА	7 лет

КС «Электро-М»

Наименование	Значение
Количество аппаратов	3
Точки стояния КА на ГСО	76° в.д., 14,5° з.д., 166° в.д.
Точность поддержания КА в заданной точке стояния на ГСО	по долготе - $\pm 0.1^\circ$ по широте - $\pm 0.5^\circ$
Общее число спектральных каналов	20
Диапазон длин волн, мкм	0,38 - 14,25
Пространственное разрешение:	
- в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах	0,5...1 км
- в инфракрасном диапазоне	1...2 км
Периодичность съемки:	
- в штатном режиме	до 10 мин
- в учащенном режиме	до 5 мин
Срок активного существования КА	10 лет

Сценарий солнечно-земного взаимодействия



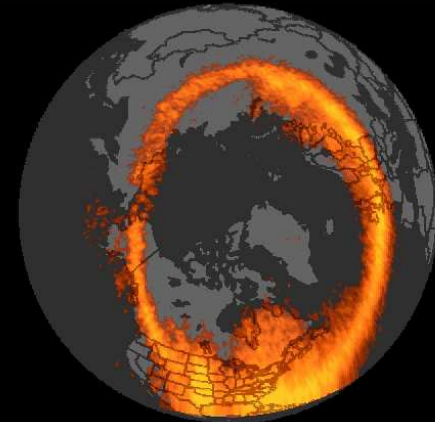
Полярные области Земли магнитно связаны с магнитосферой, управляемой солнечным ветром

Практические проявления солнечно-земных связей – Космическая погода

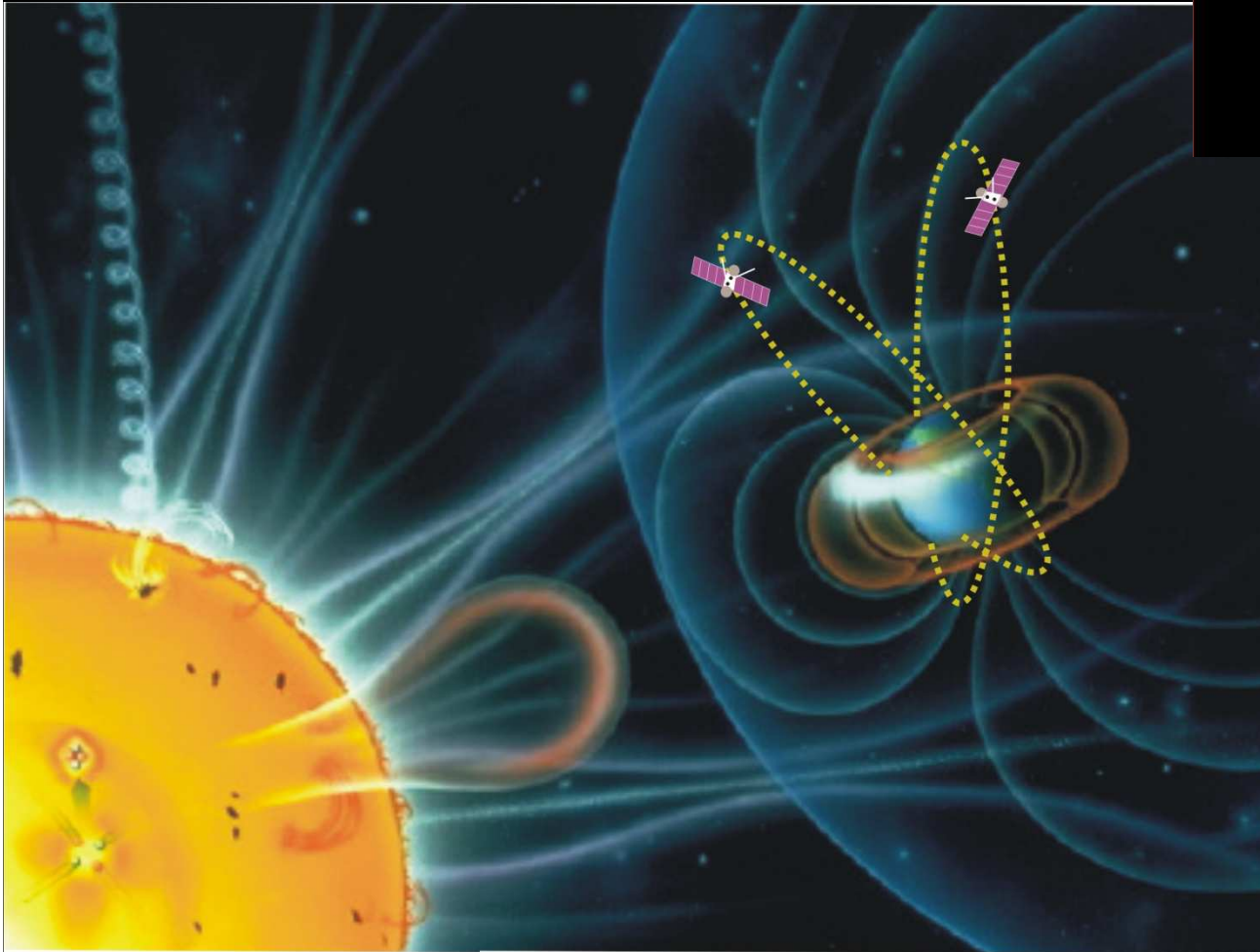


Особенности высокоапогейной орбиты

- наблюдения свечений и высыпаний плазмы в полярных областях
- сканирование всех областей магнитосферы



16 JUL 2000, 00:01



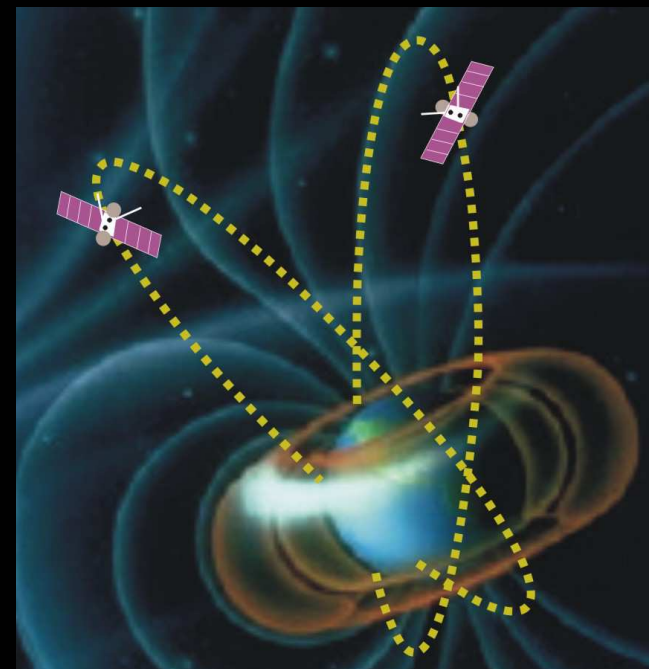
Задачи приборного комплекса «Аврора+»

Мониторинг космической погоды

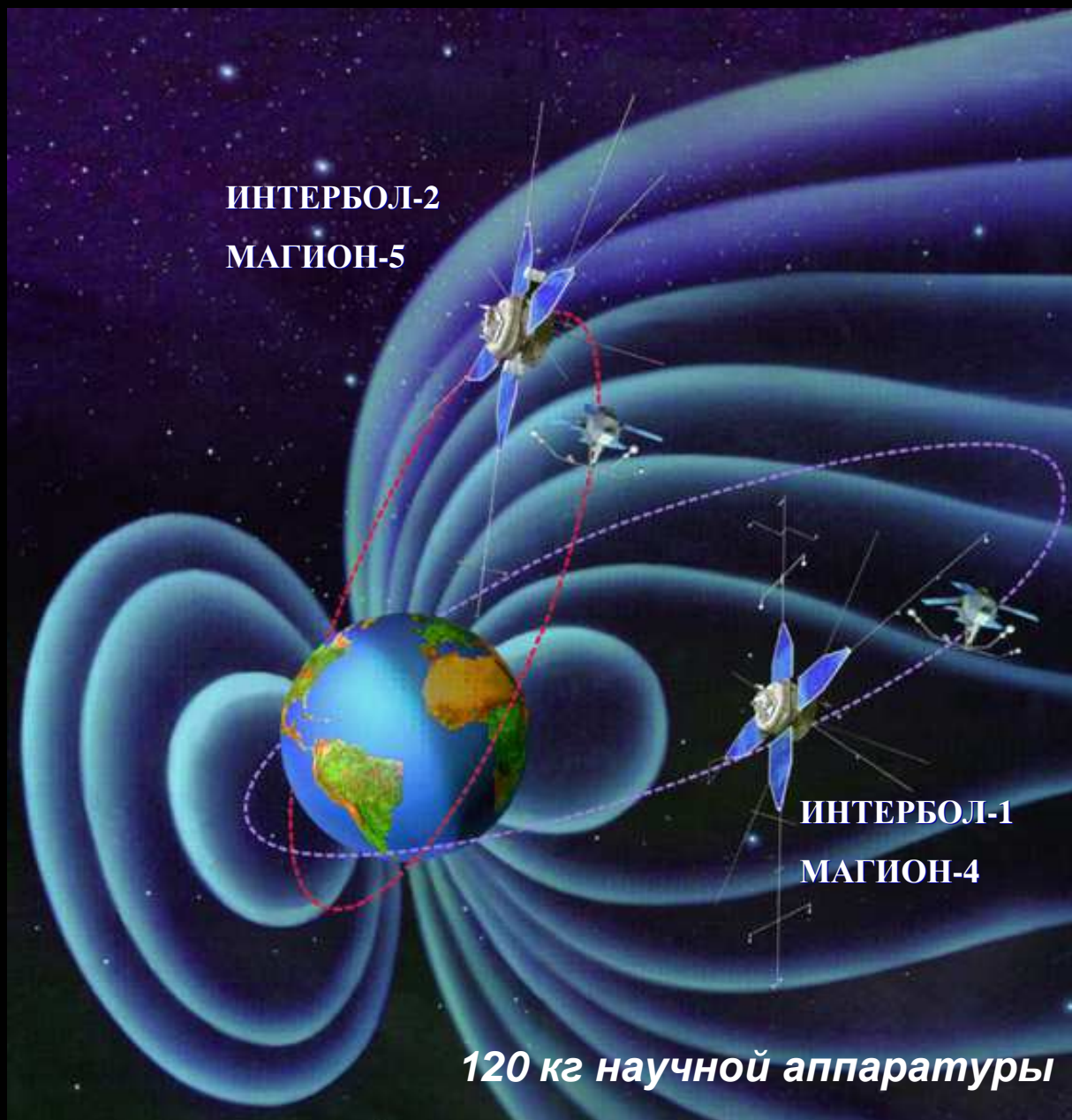
- структура и динамика авроры
- волновая активность
- динамика радиационных поясов

Фундаментальные исследования

- взаимодействие волн и частиц
- структура восходящих и нисходящих плазменных потоков
- динамика магнитосферы



Предыдущий успешный опыт исследований магнитосферы: проект ИНТЕРБОЛ



ИНТЕРБОЛ-2
МАГИОН-5

ИНТЕРБОЛ-1
МАГИОН-4

120 кг научной аппаратуры

ИНТЕРБОЛ-1

Запуск – 08.1995 год

- Перигей - 785 км
- Апогей - 200 000 км
- Период - 92 ч
- Наклонение – 62,8

Закончил
существование

16.10. 2000г.

ИНТЕРБОЛ-2

Запуск – 08.1996 год

- Перигей - 770 км
- Апогей - 20 000 км
- Период - 6 ч
- Наклонение – 62,8

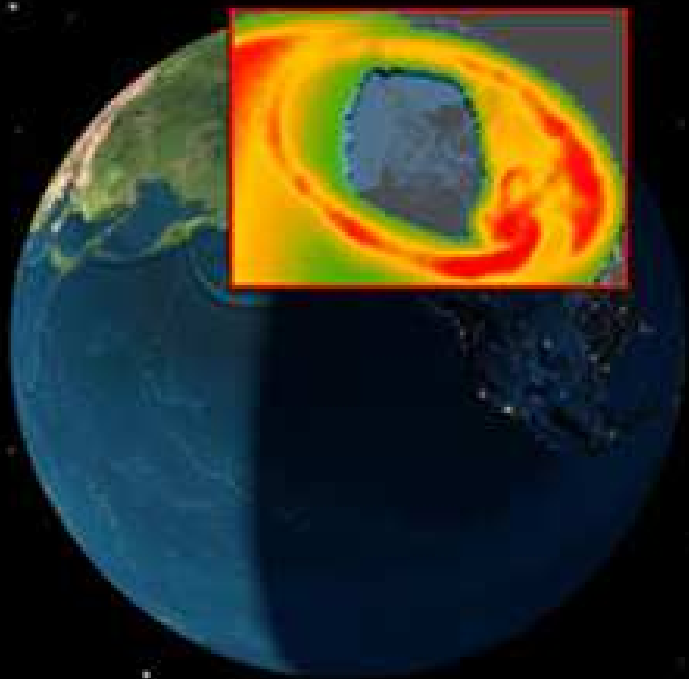
Связь потеряна 02. 99

ИНТЕРБОЛ В МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРОГРАММЕ ISTP

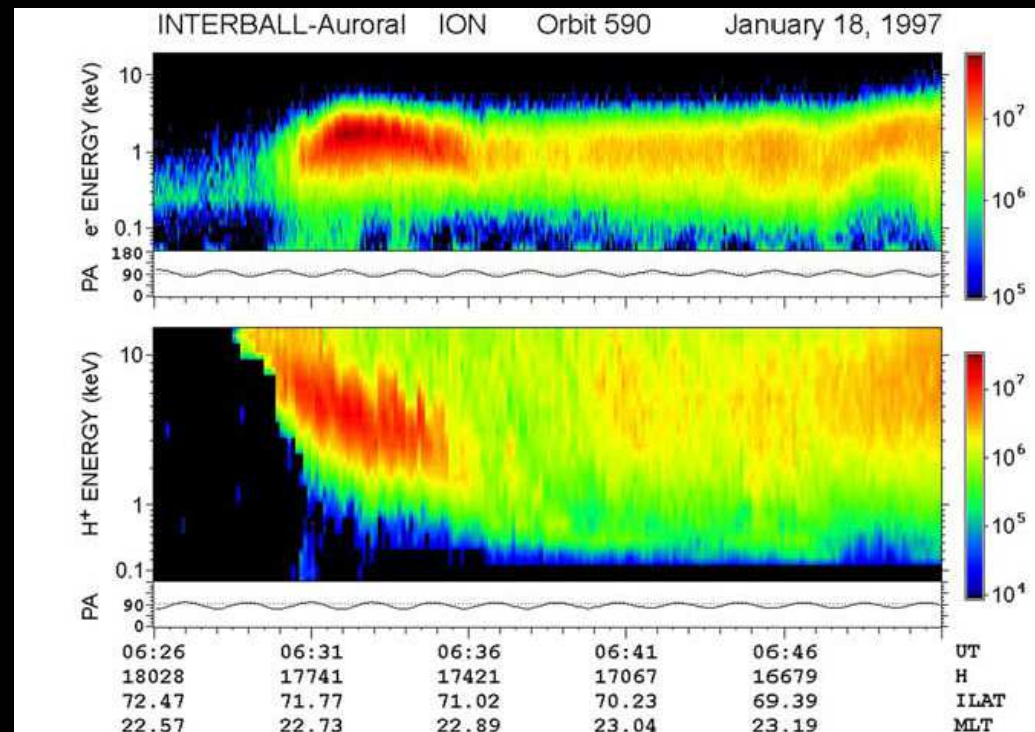


Некоторые результаты проекта «ИНТЕРБОЛ» в исследованиях полярных областей

Изучение авроральных высыпаний



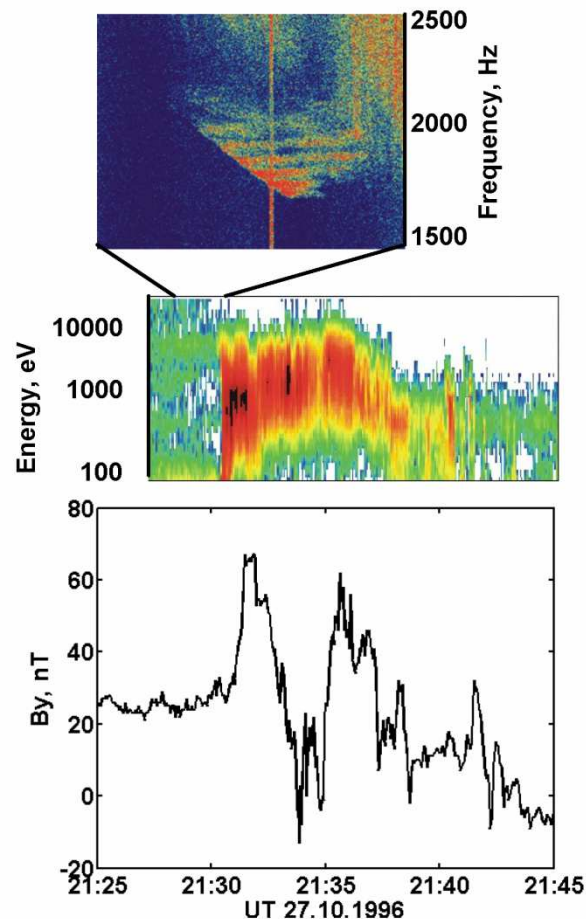
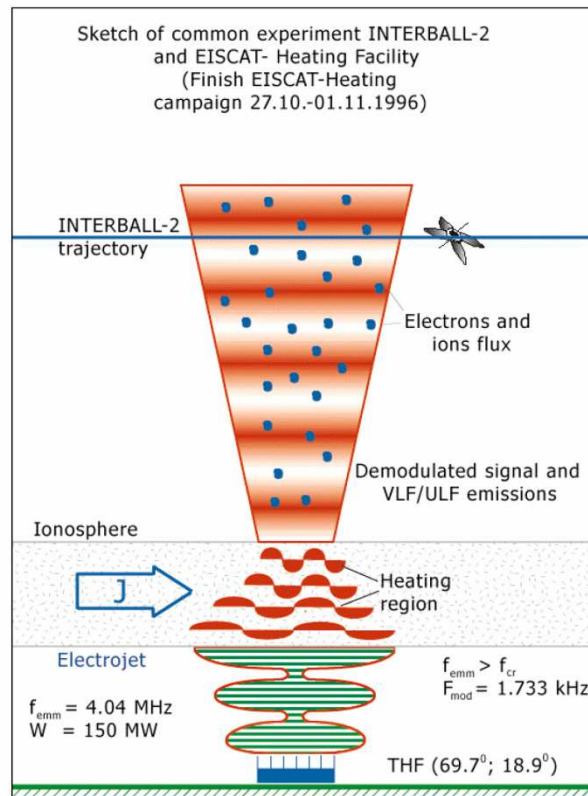
Структура овала
Прибор УВАИ



«Тонкие» структуры
потоков частиц в
авроральной магнитосфере
Прибор ИОН

Некоторые результаты проекта «ИНТЕРБОЛ» в исследованиях полярных областей

Стимуляция магнитосферно-ионосферных связей (суббури) нагревным стендом

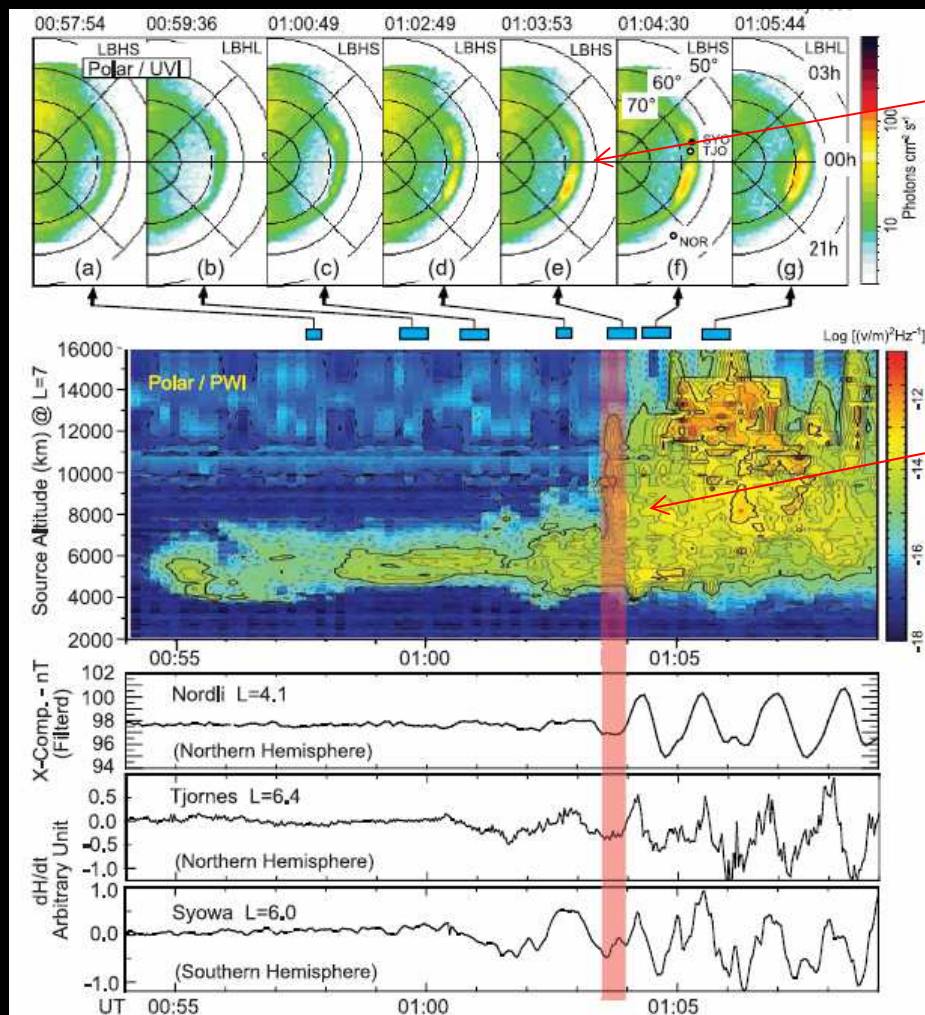


Всплеск волновой
активности
Прибор ПОЛЬРАД

Восходящий пучок
ионов
Прибор ИОН

Продольный ток
Прибор ИМАП

Авроральное километровое радиоизлучение (АКР) – наиболее чувствительный индикатор геомагнитной активности



Начало суббури по авроре

Всплеск АКР

Земля – мощнейший источник
Естественного радиоизлучения

Приборный комплекс Аврора+

Измерения:

Изображения аврорального овала в УФ

Постоянное магнитное поле

Электрические и магнитные колебания до 10 МГц

Холодная ионосферная плазма (~ эВ)

Горячая магнитосферная плазма (100 эВ – 30 кэВ)

Энергичные частицы (50 КэВ – 10-100 МэВ)

Система сбора научной информации и управления приборами

Общий вес ~90 кг

Суммарное энергопотребление ~70 Вт

Готовность приборов

Прототипы: КНА «РЕЗОНАНС», «ГЕОФИЗИКА», «ЛУНА-ГЛОБ»

2012 год: Разработка и испытания ТО

Научная кооперация

Российские участники:

- Научно-исследовательский радиофизический институт
- Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
- Институт прикладной геофизики им. Е.К. Федорова
- Институт прикладной физики РАН
- Институт солнечно-земной физики СО РАН
- Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
- Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына
- Полярный геофизический институт КФ РАН

Иностранные участники:

- Центр исследований Земли и планет, Франция
- Институт астрофизических и планетных исследований, Франция
- Институт Макса Планка, г. Линдау, Германия
- Технический Университет Брауншвейга, Германия
- Институт физики атмосферы Чешской Академии Наук
- Центр космических исследований Польской Академии Наук
- Институт экспериментальной физики Словацкой Академии Наук
- Институт космических и солнечно-земных исследований Болгарской Академии наук
- Институт космических исследований украинской академии наук

Приборы волновых измерений

Задача	Прибор	измерения	Вес кг	Потребле- ние Вт
Авроральный овала	«Авровизор ВУФ»	133-160 нм 121,8 нм 135,6 нм	< 33	Мах 56
Мониторинг магнитного поля	магнитометр «ФМ-ВО»	$\pm 65\ 000$ нТ	< 6	9
Волновые измерения	«ЭММА»	До 30 кГц	6	9
	Приемник–ОНЧ	10 Гц - 30 кГц	3.5	4.2
	Радио-спектрометр	10 кГц – 10 МГц	4.8	10

Приборы плазменных измерений

Задача	Прибор	Диапазон измеряемых величин	Вес	Потребление
Ионосферная плазма	«АПИН»	Ионы и электроны ~ неск. эВ	≤ 3.5 кг	2.5 Вт
	3D холодные ионы	Ионы: 1эВ – 3 кэВ	3 кг	3 Вт
Горячая плазма	«AMBER»	Ионы и электроны: 10 эВ – 30 кэВ	2.8 кг	< 2 Вт
	«ТОТЭМ-И»	Ионы с <u>массовым разрешением</u> 10 эВ – 30 кэВ	4.8 кг	≤ 6 Вт
	«ТОТЭМ-Э»	Электроны: 10 эВ – 30 кэВ	3.2 кг	≤ 3.5 Вт
Энергичная плазма	«БЭЛЛА»	Электроны: 5кэВ – 50кэВ	8 кг	9 Вт
	АСПЕКТ-Э	Ионы и электроны 50 кэВ – 1 МэВ	3.5 кг	4 Вт

Комплекс ГГЭК

**Спектрометр
плазмы и энергичной
радиации**

Гамма спектрометр

**протоны и электроны
50 эВ – 20 кэВ**

Электроны 150 кэВ – 10 МэВ

Протоны 2-120 МэВ

Альфа-частицы 15-100 МэВ

0,02...10,0 МэВ

Научная информация

- ❖ Система сбора научной информации обеспечивает управление отдельными приборами, сбор, хранение и передачу информации на радиокomплекс
- ❖ Сеансы передачи информации могут происходить на протяжении получаса до и получаса после рабочего участка орбиты этих спутников (четыре раза в сутки с одного спутника) ~ 20 ГБ/сутки (с одного спутника).
- ❖ Общий поток передаваемой научной информации можно оценить как ~ 5 ГБ/сутки

Выводы

- Предлагаемый комплекс НА «Аврора+» для КА «Электро-ВО» позволяет осуществлять широкий спектр фундаментальных исследований процессов взаимодействия внешней и внутренней магнитосферы и мониторинга космической погоды в полярном регионе.
- Наблюдения выполненные с высокоапогейной орбиты в комплексе с наземными наблюдениями дадут полную картину активности авроральной ионосферы и геомагнитных возмущений в полярной области, наиболее подверженной влиянию факторов космической погоды

Спасибо за внимание!

Схема построения орбитальной группировки КС «Электро-ВО» и КС «Электро-М»

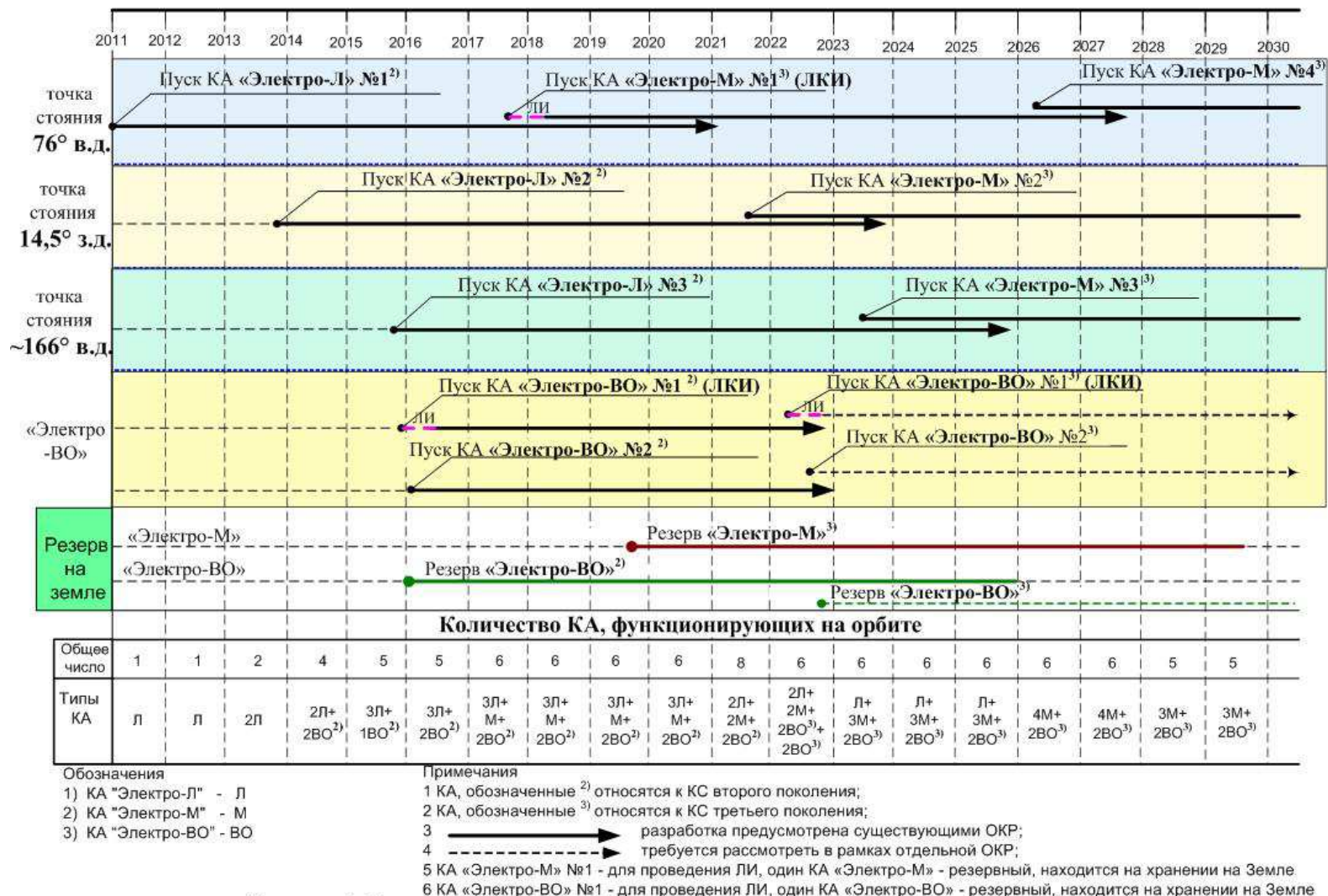
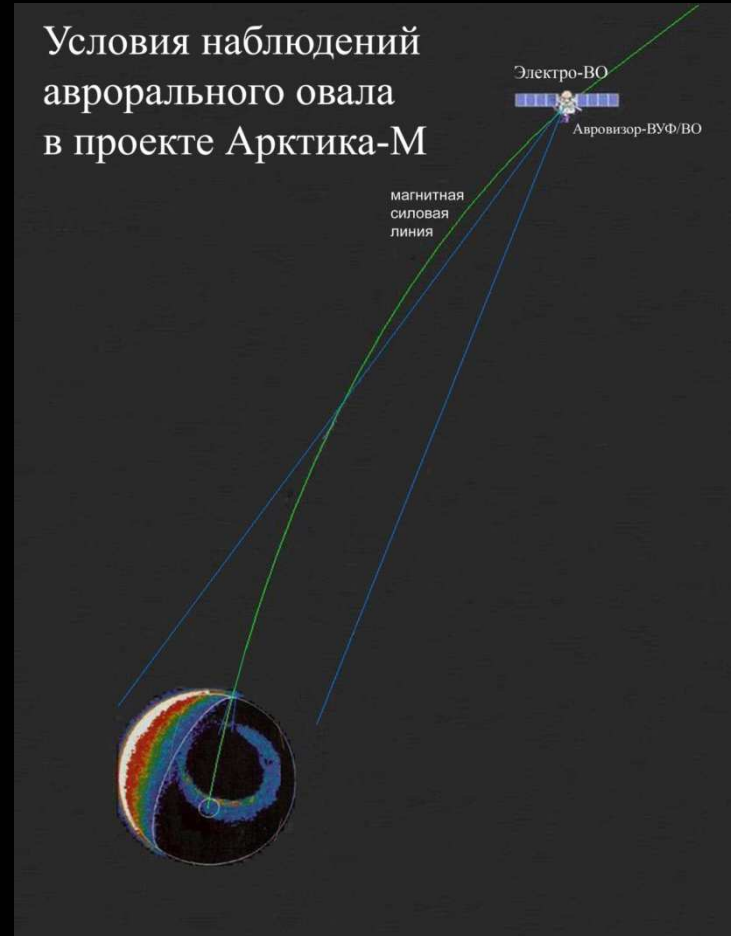
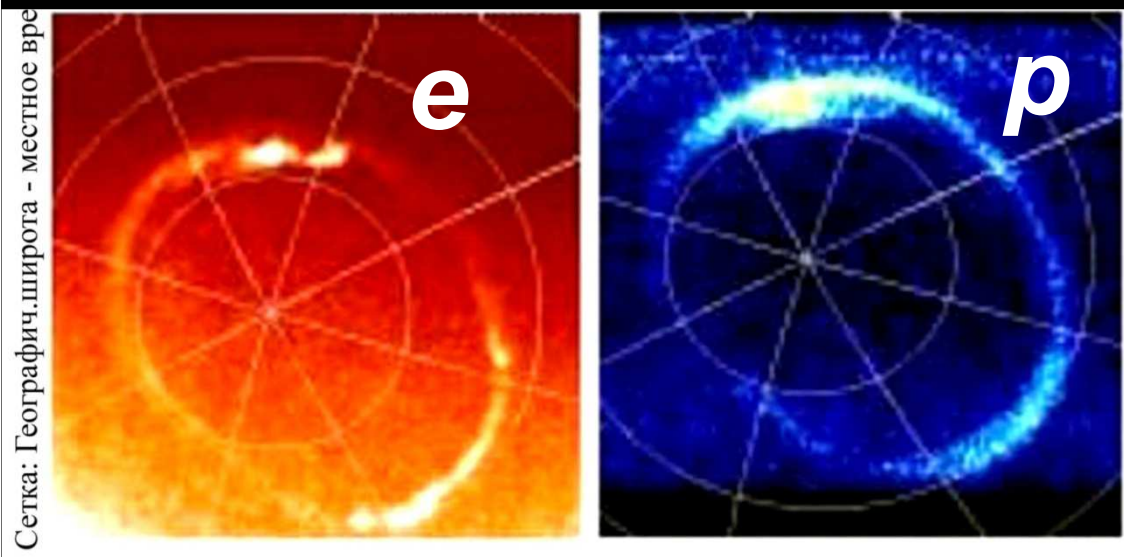
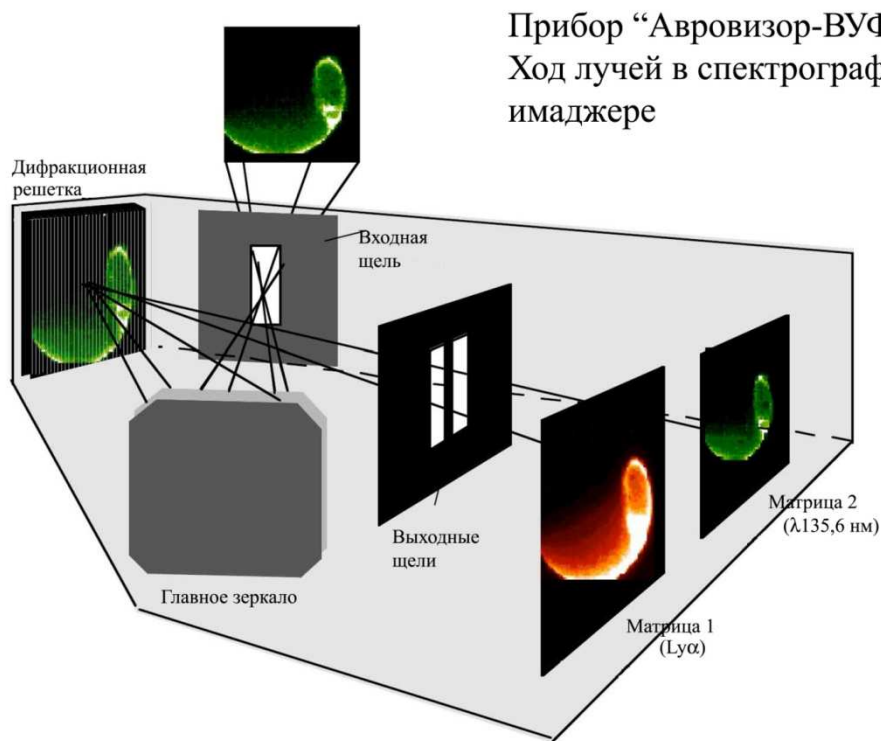


Рисунок 1. Схема построения орбитальной группировки КС «Электро-М» и КС «Электро-ВО»

«Авровизор ВУФ»: мониторинг аврорального овала



«Авровизор ВУФ»: мониторинг аврорального овала и характеристик высыпающих заряженных частиц



Состав: 3й модуль спектрографический имаджер)

Изображения в линиях:

1. Линия Ly- α (121,8 нм)
2. Линия O1 (135,6 нм)

1 изображение: 1024x1024x16бит=16.8мбит

Вес: 15 кг

Потребление: 19 Вт

Информативность: 0.27Мб/сек

Измерение флуктуаций магнитного поля: прибор ЭММА (ЭлектроМагнитный Монитор Аврора)

Научная задача: исследование флуктуаций магнитного поля в высокоширотных областях магнитосферы Земли (до 30 кГц)

Технические характеристики: масса – 6 кг; потребление – 9 Вт;
информативность – до 100 Кбайт/с.

Требования к размещению: датчики прибора должны размещаться на штанге на расстоянии 5 метров от корпуса КА

Прототипы: приборы проектов «Фобос-Грунт» (ФПМС) и «Луна-Глоб-ПМ» (ЛЕМИ)



Датчик (феррозондовый магнитометр) для измерения флуктуаций магнитного поля на частотах меньше 100Гц (φ30х40 мм)



Датчики (3шт, индукционные магнитометры) для измерения флуктуаций магнитного поля на частотах от 100Гц до 30КГц (φ60х300 мм)



Блок электроники и анализатора сигналов (150х150х120 мм)

Кооперация

ИКИ РАН и Институт атмосферной физики, г.Прага, Чехия (блок электроники).

Львовский центр Института космических исследований НАНУ/НКАУ, г. Львов, Украина (датчики магнитного поля)

Измерение магнитного поля Земли: прибор ФМ-ВО (феррозондовый магнитометр)

Научная задача: мониторинг магнитного поля Земли (± 65000 нТ)

Прототипы: приборы проектов «Фобос-Грунт» (ФПМС) и «Луна-Глоб-ПМ» (ЛПМС-ЛГ)

Состав: 3 блока – датчики **ДФМ-2**,
блок электроники **БЭ - 1**

Технические характеристики: масса - не более 6 кг
энергопотребление - не более 9 Вт.
информативность прибора: 2 кбит/с

Требования к размещению: датчики прибора должны размещаться на штанге на расстоянии 5 метров от корпуса КА



Датчик ДФМ: $\phi 30 \times 47$ (мм)



БЭ - $\phi 180 \times 175 \times 260$

Изготовитель: ИКИ РАН,
РПКБ
Раменское»

Приемник-анализатор ОНЧ излучений

Научные задачи:

- Мониторинг геомагнитной активности по интенсивности АКР.
- Изучение взаимодействий волна-частица в авроральной магнитосфере и в каспе.

Состав прибора: блок электроники , магнитные и электрические датчики

Требования к установке: датчики размещаются на штангах

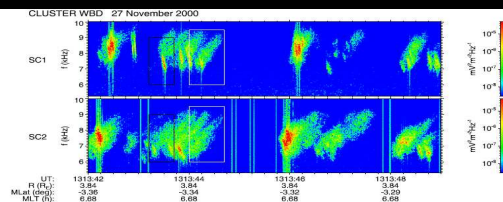
Технические характеристики: масса – **3.5 кг**

диапазон измеряемых частот **10 Гц – 30 кГц**

энергопотребление - **4.2 Вт**

информативность – **от 2 до 280 кбит/с** в зависимости от режима

Прототип: эксперимент ЭЛМАН проекта РЕЗОНАНС



Пример ОНЧ излучений,
зарегистрированных в каспе



Ø 110x130x170 мм



Радиоспектрометр ВЧ

Научные задачи:

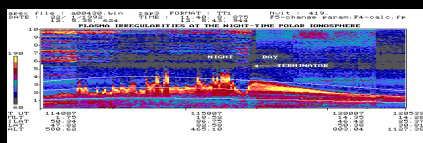
- Мониторинг состояния ионосферы и геомагнитной активности
- Исследование волновой активности в авроральной области и каспе.

Состав прибора: блок электроники , магнитные и электрические антенны

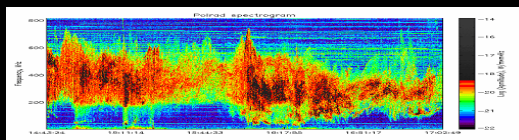
Технические характеристики: масса БЭ и антенн – **3кг + 1.8 кг**
диапазон измеряемых частот **10 кГц – 10 МГц**
энергопотребление - **10 Вт**
информативность – **от 2 до 280 кбит/с** в зависимости от режима

Прототип: прибор ВЧА проекта РЕЗОНАНС

Легкие электрические антенны длиной 10 м разработаны в рамках проекта ГЕОФИЗИКА



Пример ЭМ «портрета»
ионосферы



АКР по измерениям
на КА ИНТЕРБОЛ-2



Измерение характеристик ионов: прибор ТОТЕМ - И

Научная задача: исследование характеристик ионов в авроральной магнитосфере

диапазон энергий: от десятков эВ до начальных десятков кэВ

временное разрешение: до 10 Гц (изучение быстрых процессов)

угол зрения: $360^{\circ} \times 5^{\circ}$

Состав: электронная оптика, энерго-анализатор, времяпролетная секция

Требования к установке: на корпусе КА под ЭВТИ

Технические характеристики: масса – 4.8 кг
энергопотребление - не более 6 Вт.
информативность прибора: 6 кбайт/с

Прототипы: «Камера И» для проекта РЕЗОНАНС

Изготовитель: ИКИ РАН и «АСТРОН-Электроника»

ТОТЕМ - И
 $\phi 175 \times 166 \times 260$



Измерение характеристик электронов прибор ТОТЕМ - Э

Научная задача: исследование характеристик электронов в авроральной магнитосфере Земли

диапазон энергий: от десятков эВ до начальных десятков кэВ

временное разрешение: до 10 Гц (изучение быстрых процессов)

угол зрения: $360^{\circ} \times 5^{\circ}$

Состав: электронная оптика, энерго-анализатор

Требования к установке: на корпусе КА под ЭВТИ

Технические характеристики: масса – 3.2 кг
энергопотребление - не более 3.5 Вт.
информативность прибора: 6 кбайт/с

Прототипы: «Камера Э» для проекта РЕЗОНАНС

Изготовитель: ИКИ РАН и «АСТРОН-Электроника»

ТОТЕМ - Э
Ø190x170x170



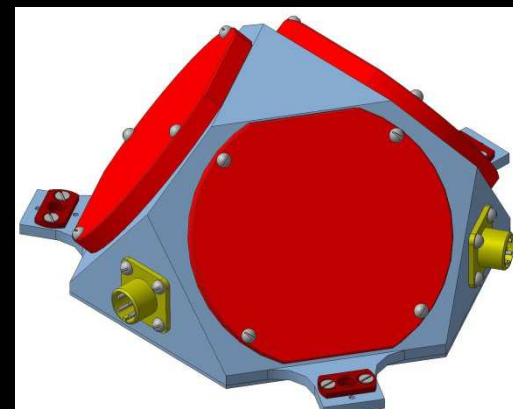
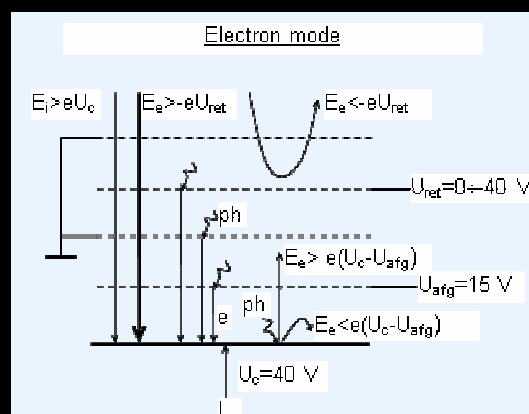
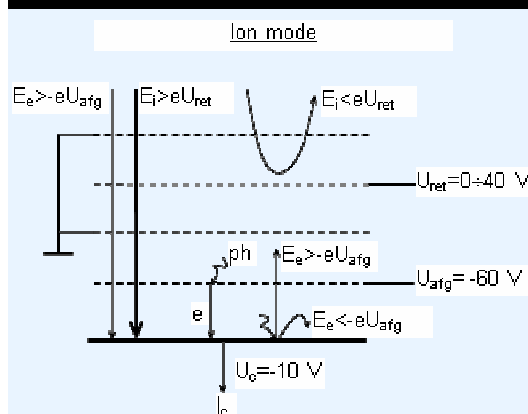
Измерение тепловой плазмы: Плазменный инструмент АПИН

Научные задачи: измерение вариаций температуры ионов и электронов вдоль орбиты «Электро-ВО»
измерение концентрации ионов и электронов
измерение потенциала поверхности спутника
измерение скорости дрейфа ионов и электронов (измерение электрических полей)

Требования к установке: на противоположных сторонах спутника с макс. открытым полем зрения 4π

Технические характеристики: масса не более 3.5 кг
энергопотребление -2.5 Вт.
информативность : ~ 54 кбит/с макс скор.
 ~ 16 кбит/с макс непр. скор.
частоте измерен. 20 Гц

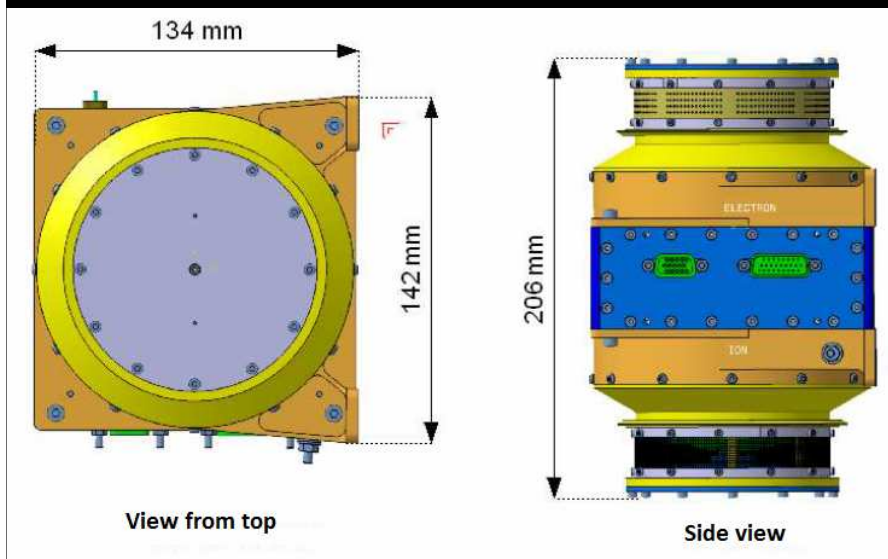
Прототип: эксперимент РЕПИН проекта РЕЗОНАНС



Эксперимент AMBER: измерение потоков и функций распределения ионов и электронов.

Научные задачи: измерение потоков и функций распределения ионов и электронов в диапазоне энергий **10 эВ – 30 кэВ** с энергетическим разрешением **10%**.

Технические характеристики: масса - **2.8 кг**
энергопотребление – **менее 2 Вт.**
информативность прибора: **16 кБ/с**



Изготовитель: IRAP/CNES

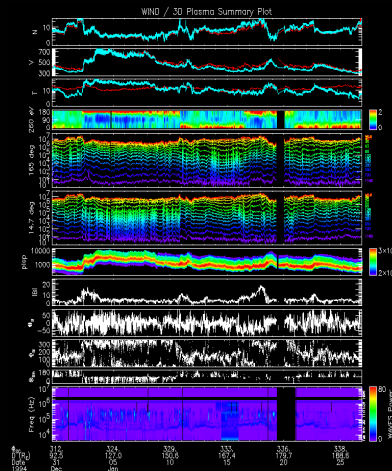
3D электростатический анализатор холодных ИОНОВ

Научные задачи:

- Мониторинг ионов плазмы в диапазоне энергий 1 эВ - 3 кэВ.
- Исследование динамики нагрева и оттока ионов из ионосферы в магнитосферу

Технические характеристики: масса – 3 кг
временное разрешение ~ 10 мс
информативность – 6 кбит/с
энергопотребление – 3 вТ

Аналоги прибора: использовались в проектах АРКАД-3, ИНТЕРБОЛ, ДЕМЕТЕР и др.



Изготовитель: CETP (Франция) при участии ИКИ РАН

Пример результатов измерений

Спектр-анализатор энергичных частиц АСПЕКТ-Э

Научные задачи:

- Мониторинг ускоренных электронов и ионов плазмы в диапазоне энергий 50 кэВ-1М МэВ с высоким разрешением по энергии
- Исследование динамики магнитосферных высыпаний и ускорения частиц

Технические характеристики: масса – 3.5 кг

временное разрешение ~ 1 с

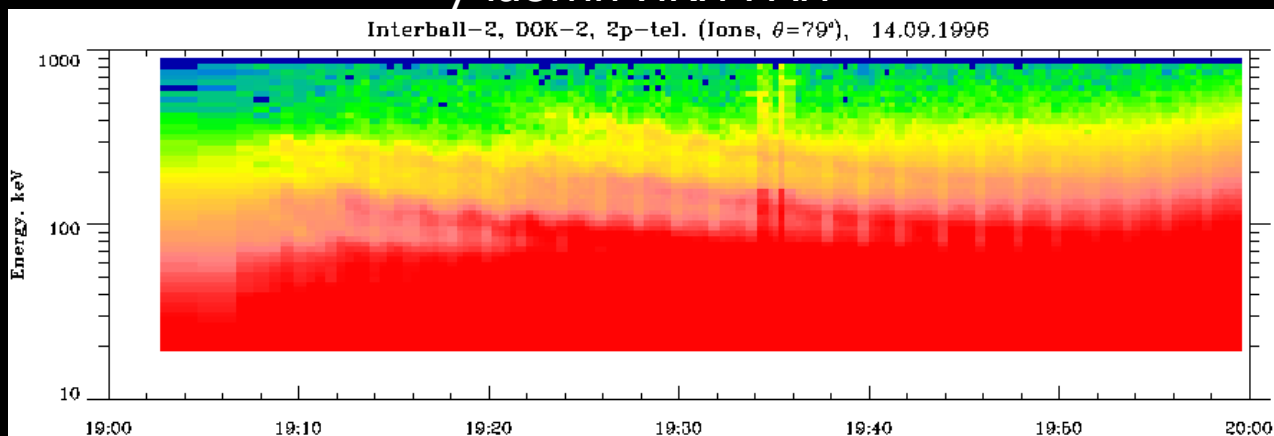
информативность – 1-3 кбит/с

энергопотребление – 4 Вт

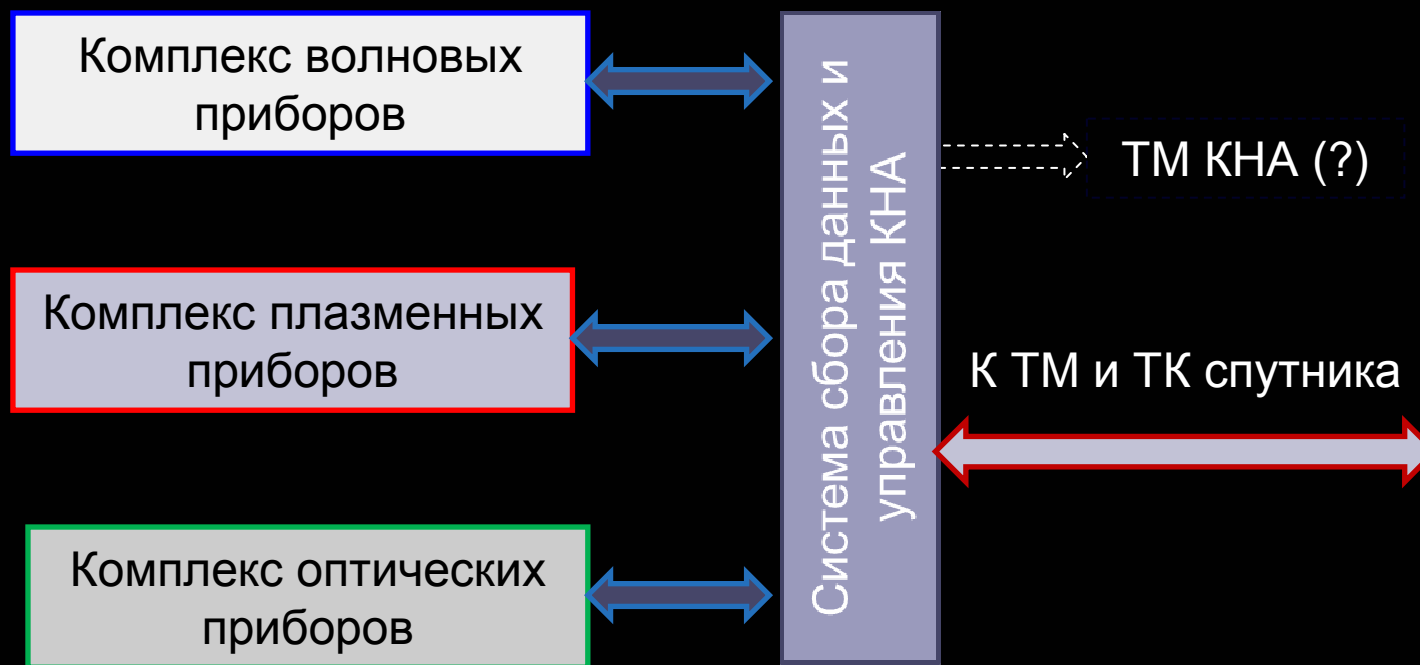
Аналоги прибора: использовались в проектах ИНТЕРБОЛ, СПЕКТР-Р,
разрабатываются для РЕЗОНАНС, ЛУНА-ГЛОБ



Изготовитель: IEP (Словакия) при
участии ИКИ РАН



Блок-схема комплекса научной аппаратуры



*Большинство научных приборов и система сбора (СУСПИ) проходят обработку в рамках проекта РЕЗОНАНС

Состав космической системы «Электро-ВО»

Космическая система
«Электро-ВО»
НПО им.С.А.Лавочкина

Космический комплекс
«Электро-ВО»
НПО им.С.А.Лавочкина

Наземный комплекс
приема, обработки и
распространения
информации
НПО им.С.А.Лавочкина

Комплекс космического
аппарата «Электро-ВО»
НПО им.С.А.Лавочкина

Комплекс
разгонного
блока «Фрегат»
НПО
им.С.А.Лавочкина

Комплекс
ракеты-носителя
«Союз 2/16»
ГНПРКЦ «ЦСКБ-
Прогресс»

Технический
комплекс ракеты
космического
назначения
ГНПРКЦ «ЦСКБ-
Прогресс»

Наземный комплекс
управления
ОАО РКС