Перспективный космический эксперимент «Скаттерометр-L» на РС МКС

Смирнов М.Т.

ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН

Подготовка эксперимента

- Постановщик эксперимента

  ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
- Разработчик научной аппаратуры

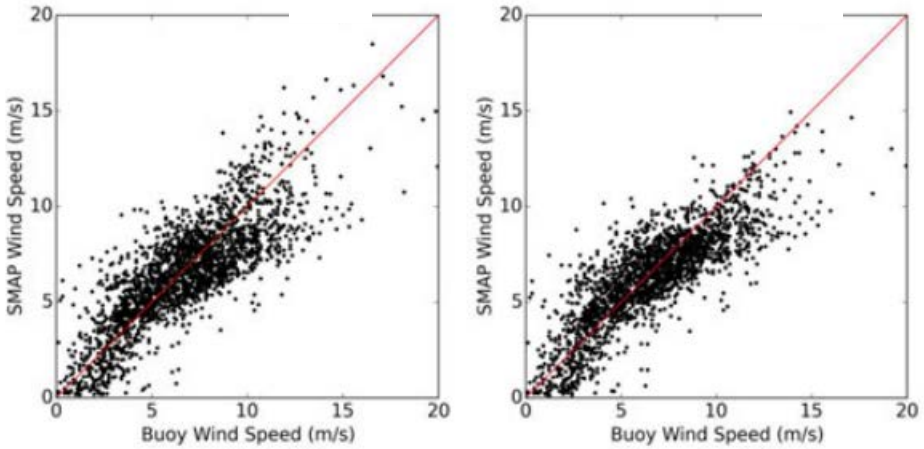
  АО КБ РЭ (ранее СКБ ИРЭ РАН)

- Работа над подготовкой эксперимента начата в 2009 г.

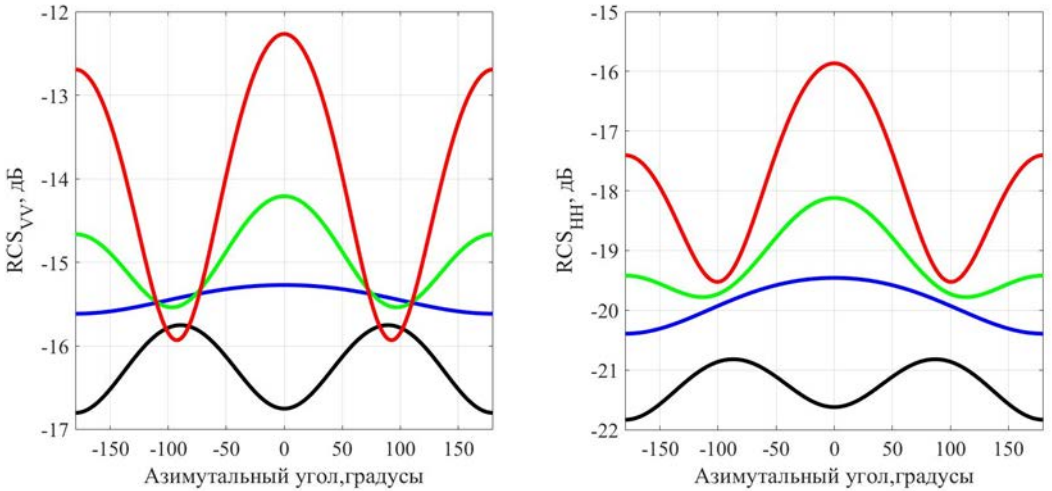
Цели и задачи эксперимента

- Главной целью планируемого космического эксперимента «Скаттерометр L» на РС МКС является развитие методов скаттерометрии морской поверхности
- В процессе проведения КЭ (ЦР) решаются следующие задачи:
  - разработка скаттерометра дециметрового диапазона;
  - оптимизация методов обзора пространства для увеличения точности измерений;
  - разработка методик и алгоритмов определения скорости и направления ветра и водных течений;
  - разработка методик и алгоритмов картирования и оценки состояния льдов;
  - разработка методик и алгоритмов картирования и оценки состояния снежных покровов;
  - разработка методик и алгоритмов картирования и оценки гидрологического состояния почвы;
  - анализ погрешностей измерений и разработка методов учета мешающих факторов;
  - разработка методов калибровки скаттерометрических данных;
  - валидация результатов измерений с использованием подспутниковых экспериментов и данных наземных измерений.

Физические основы определения параметров океана по данным скаттерометра



Скорость ветра, измеренная по данным NDBC буев, и скорость ветра, восстановленная по данным SMAP, с использованием направления ветра по данным NDBC буев и NCEP



Азимутальная зависимость УЭПР по данным РСА SMAP для скоростей ветра 5, 8, 10 и 15 м/с. Вертикальная поляризация – правый рисунок, горизонтальная – левый рисунок. Угол падения – 40 градусов

X. Zhou, J. Chong, X. Yang, W. Li, and X. Guo, “Ocean Surface Wind Retrieval Using SMAP L-Band SAR”, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Dec. 2016, pp. 65 – 74

Научная аппаратура

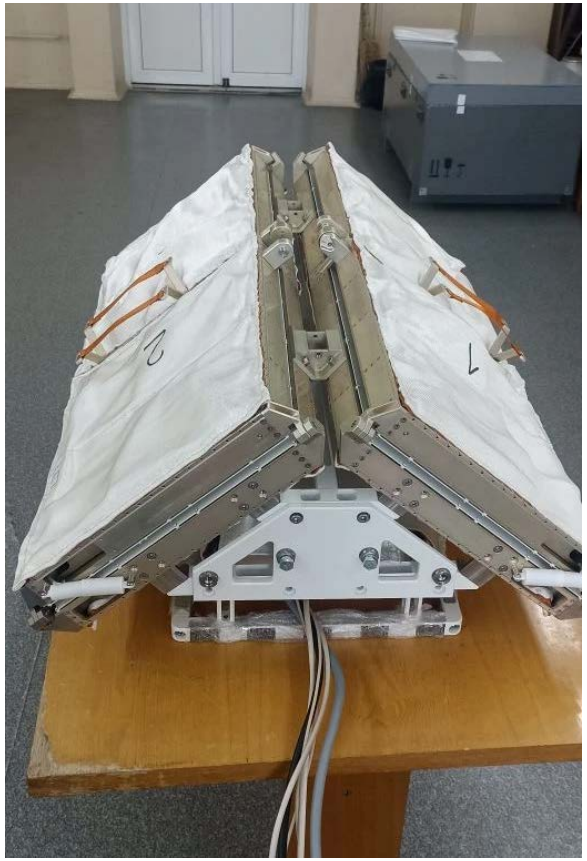
Летный образец НА разработан и изготовлен в АО КБ РЭ (ранее СКБ ИРЭ РАН)

Состоит из 2 частей:

- Внешний блок с раскрываемой антенной системой и приемопередающими модулями
- Внутренний блок управления и сопряжения с бортовыми системами РС МКС

Летный образец скаттерометра







Основные технические характеристики НА

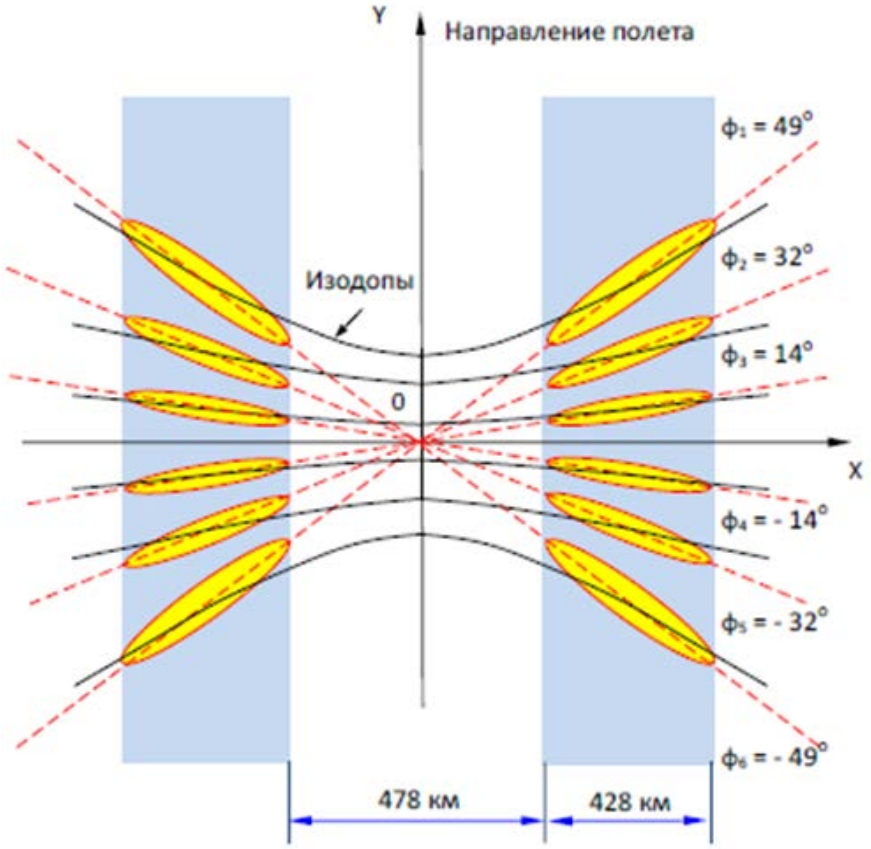
- Поляризация - вертикальная
- Центральная частота 1305 МГц
- ЛЧМ импульсы с девиацией частоты 60 КГц
- Длительность импульса 2 мс
- Между импульсами 200 мс
- АЦП - разрядность 4096, частота 220 КГц
- Динамический диапазон -30 ÷ -10 дБ

  Имеется потенциальная возможность дистанционной настройки мощности передатчика и изменения коэффициента передачи приемника.

  Антенна

  - Наклон 40º от надира
  - Диаграмма
    - По азимуту 6-7º
    - По углу места 32º
- Пространственное разрешение ~4-5 км

Алгоритм работы скаттерометра



Лучи (азимутальное направление зондирования) переключаются последовательно.

Переключение производится так, чтобы области наблюдения за счет движения КА наблюдались последовательно под разными азимутальными углами.

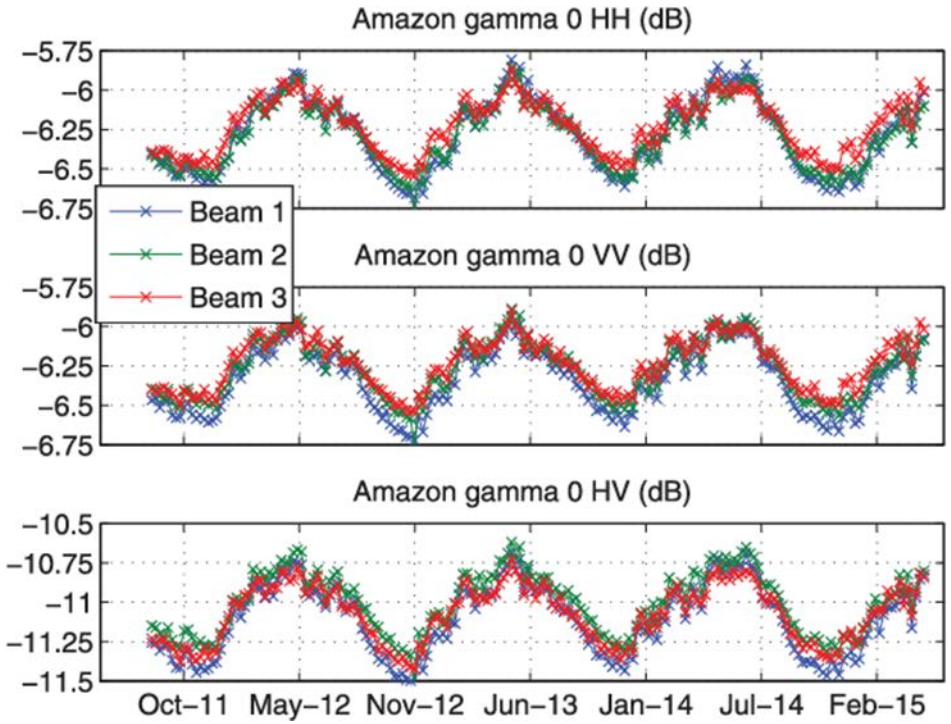
В каждом луче принимается 32 последовательных импульсов длительностью 2 мс и интервалом между ними 200 мс.

В промежутке времени между импульсами производится измерение радиотеплового излучения Земли при помощи СВЧ радиометра.

ЛЧМ импульсы оцифровываются с частотой 220 кГц.

Калибровка измерений

Влажные леса Амазонки



$$\gamma_0 = \sigma_0 / \cos\theta$$

- Расчёт ожидаемого сечения обратного рассеяния (σ_o) для выбранной области кс использованием данных о ветре из метеорологических моделей (например, NCEP) и геофизической модельной функции (GMF)
- Природные и техногенные объекты с известными стабильными характеристиками отражения
- Характеристиках отражения различных объектов можно получить по данным PALSAR

A. G. Fore et al., "Aquarius Scatterometer Calibration," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2015, vol. 8, no. 12, pp. 5424-5432

Обработка информации

- На борту производится только прием сигналов и оцифровка огибающей принятых импульсов
- Полученные данные имеют временную привязку и дополняются баллистическими данными с борта МКС
- Обработка информации с целью сжатия импульсов и получения цифровых характеристик мощности принятых сигналов будет производиться на Земле
- После калибровки по естественным объектам с известными характеристиками отражения будут вычисляться значения сечения рассеяния исследуемых объектов
- По результатам серии измерений будут формироваться изображения исследуемых объектов

Информационный кадр

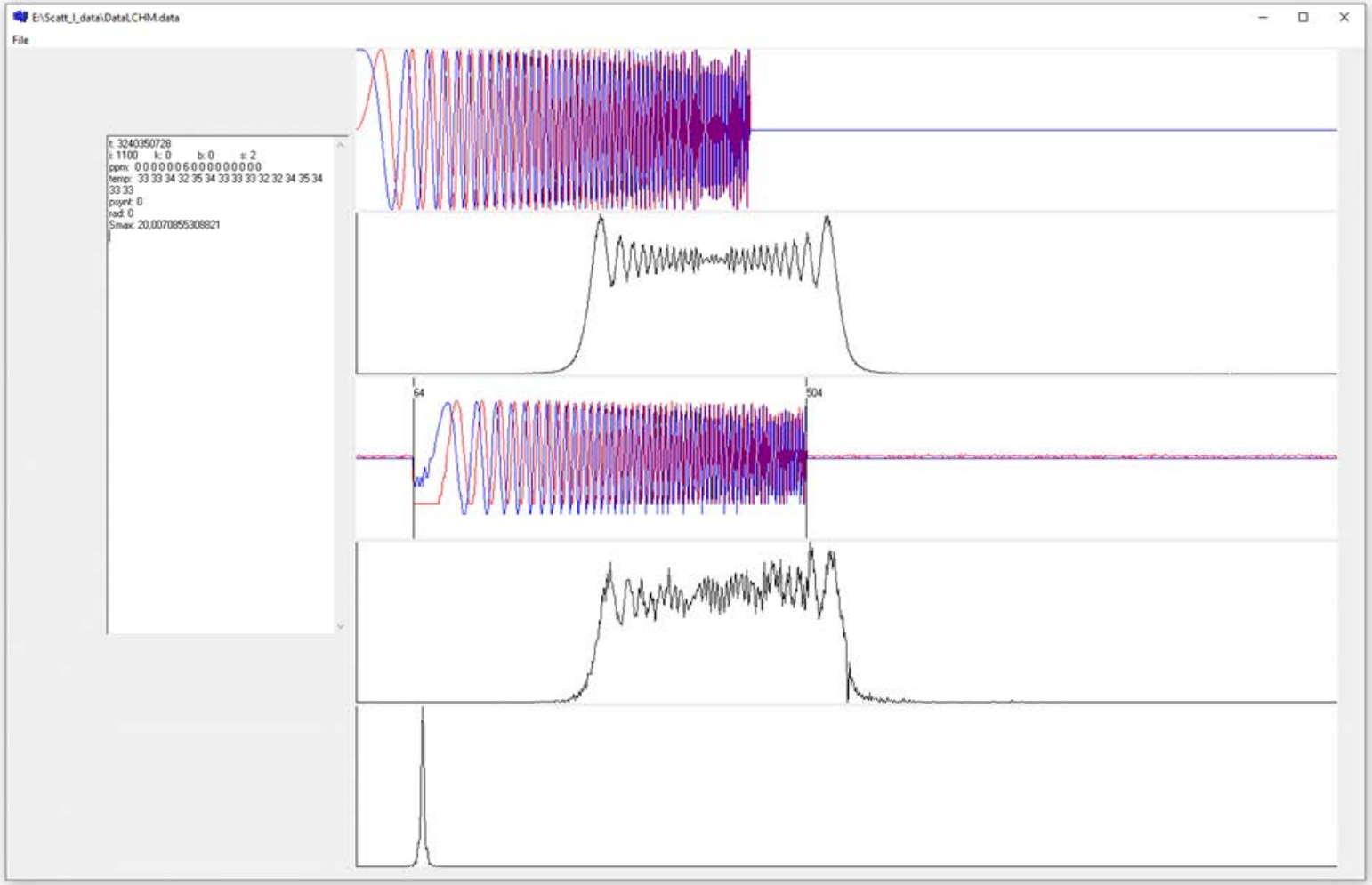
Кадры информации содержат:

- время отправки первого импульса (начало кадра)
- номер луча
- последовательность 32 принятых оцифрованных импульсов (I и Q компоненты)
- информация о мощности излучения
- данные СВЧ радиометра
- баллистические данные о положении и ориентации станции, получаемые в реальном времени с борта МКС
- дополнительные сопроводительные данные

Программное обеспечение наземной обработки информации

- Разработаны базовые программные модули чтения и предварительной обработки информации
- Сжатие импульсов производится в спектральной области
- Программные модули проверены на данных, полученных при наземных испытаниях НА

Пример обработки информации при наземных испытаниях



- излученный импульс (I и Q компоненты)
- спектр излученного импульса
- принятый импульс (I и Q компоненты)
- спектр принятого импульса
- сжатый импульс

Основные результаты

- Разработчик изготовил научную аппаратуру
- Проведены наземные испытания НА
- Разработаны базовые программные модули обработки информации

- Доставка и монтаж НА на борт РС МКС запланированы на вторую половину 2027 г.
- Проведение экспериментов запланировано в период 2027-2029 г.г.

Работа выполнена в рамках Государственного задания
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН