



## **«Принципы построения аппаратуры БРЛК КА «Метеор-М» №№ 2-3, 2-4 и верификации ее характеристик на орбите»**

Д.Д. Габриэлян, В.И. Демченко, К.М. Занин, А.А. Косогор, Ю.В. Кузнецов, Р.А. Лебедев,  
О.В. Лутченко, Н.А. Михайлов, А.Л. Шлаферов

*«Ростовский-на-Дону научно-исследовательский институт радиосвязи»,  
г. Ростов-на-Дону*



2023 г.



## Введение

В данной работе приведены основные технические решения по построению радиолокационного комплекса ДЗЗ для КА «Метеор-М» №№ 2-3, 2-4 и входящих в его состав устройств.

**Цель доклада** – обсуждение основных технических решений по построению и верификации характеристик аппаратуры БРЛК КА «Метеор-М» №№ 2-3, 2-4.

**Решаемые задачи** для достижения поставленной цели включают:

1. Выбор принципа построения и определение основных параметров аппаратуры БРЛК;
2. Рассмотрение методики верификации характеристики направленности БРЛК на орбите;
3. Анализ результатов летных испытаний БРЛК.



## Требуемые характеристики аппаратуры БРЛК

Создание аппаратуры БРЛК КА «Метеор-М» №№ 2-3, 2-4 предусматривает обеспечение, в первую очередь, требований по ширине полосы обзора, радиометрическому разрешению и радиометрической чувствительности:

- ❖ пространственное разрешение при проведении съемки не менее:
  - с низким разрешением (СНР) – 1000 м × 1000 м;
  - со средним разрешением (ССР) – 500 м × 500 м;
- ❖ ширина полосы съемки в обоих режимах не менее 600 км;
- ❖ радиометрическое разрешение не менее:
  - в режиме СНР – 1,5 дБ;
  - в режиме ССР – 1,9 дБ;
- ❖ энергопотребление в режиме съемки не более 1200 Вт.

## Параметры и принцип построения антенной системы БРЛК

Принципиальным решением построения антенной системы БРЛК КА «Метеор-М» №№ 2-3, 2-4 является использование АФАР. С учетом заданных требований к БРЛК излучающий раскрыв должен иметь геометрические размеры  $13,8 \times 0,3$  м ( $445 \times 10 \lambda$ ,  $\lambda$  – длина волны на средней рабочей частоте). Использование АФАР позволяет скомпенсировать изменение характеристик приемо-передающих трактов антенны, возникающее из-за влияния факторов, связанных с выводом КА на орбиту, развертыванием излучающего раскрыва АФАР и последующей эксплуатацией БРЛК.

Для удовлетворения требований размещения АФАР выполняется в виде пяти секций, размещаемых при выводе на орбиту под обтекателем. В рабочее положение антенна переводится с использованием развертываемой силовой рамы производства АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

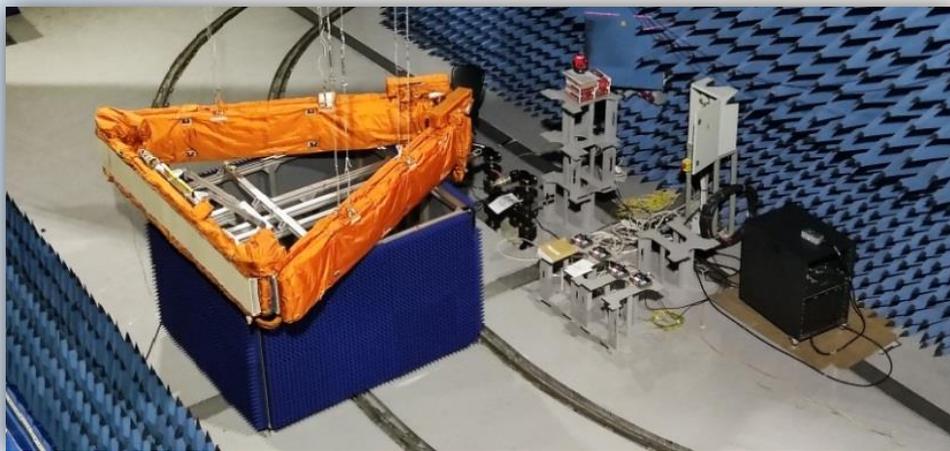


Рис. 1. АФАР БРЛК в сложенном и развернутом положении

## Принцип построения аппаратуры БРЛК

Функциональная схема БРЛК включает следующие модули:

- ❖ 5 секций АФАР, каждая из которых имеет 13 каналов (13 прямо-передающих модулей ППМ);
- ❖ приемо-задающий модуль (ПЗМ), в составе двух устройств формирования и обработки сигналов (УФО), делителя 1:2, устройства управления;
- ❖ 65 антенных элементов излучающего раскрыва, включающего 8320 излучателей;
- ❖ общий делитель 1:5 и 5 делителей 1:13, предназначенных для деления зондирующего сигнала в режиме излучения и суммирования отраженных сигналов в режиме приема.

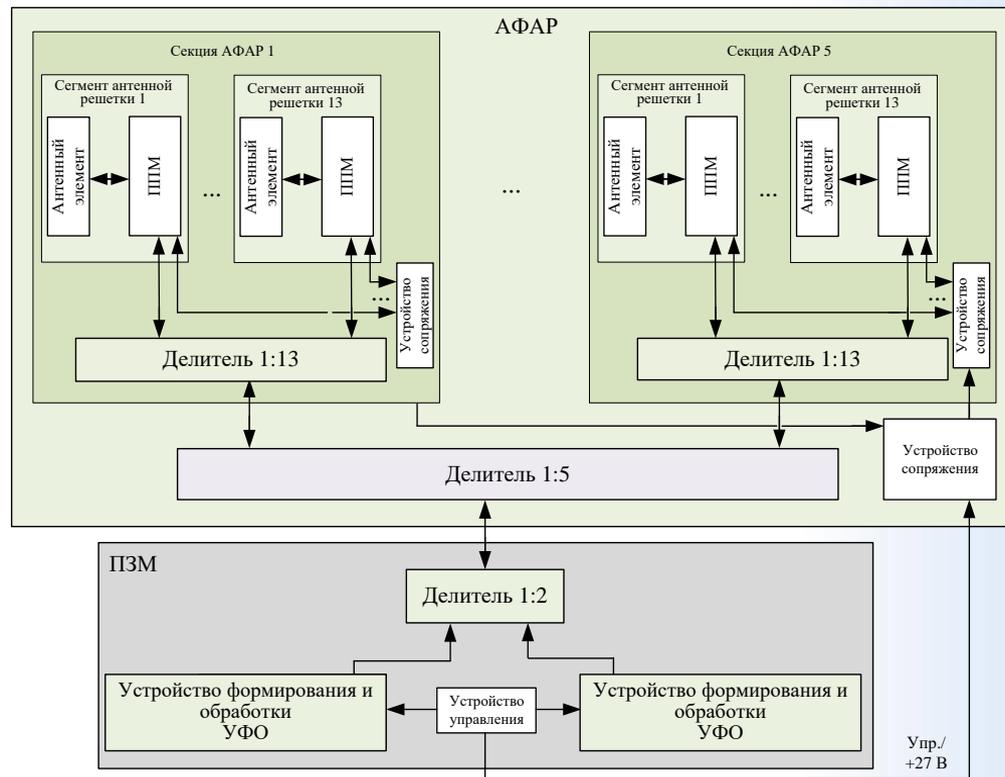


Рис. 2. Функциональная схема БРЛК

## Основные параметры ДН антенной системы БРЛК

Объемная ДН и сечения в азимутальной и угломестной плоскостях, формируемые АФАР, приведены на рис. 3. Данные результаты получены на этапе наземной отработки.

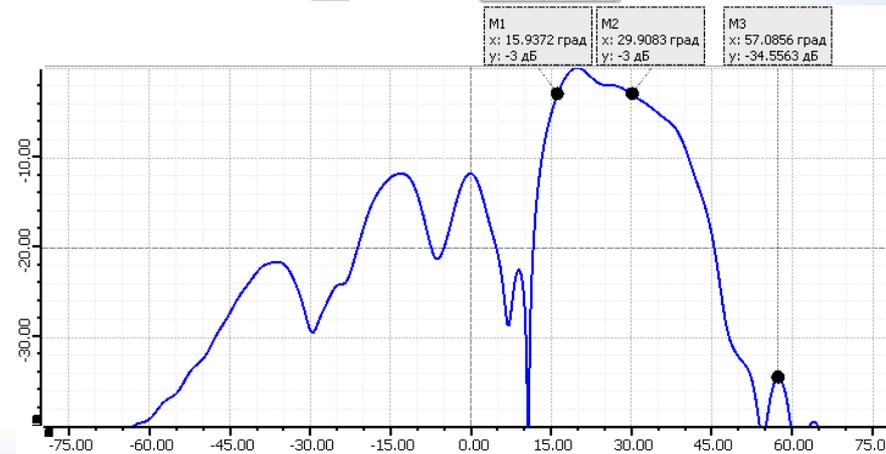
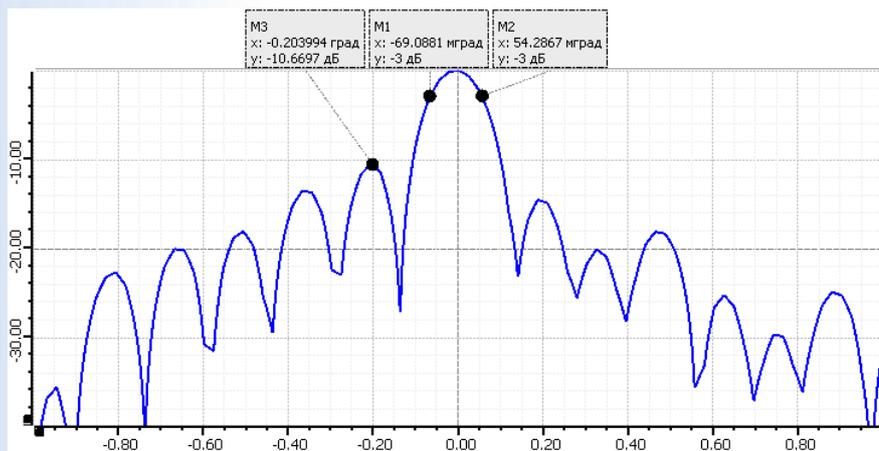
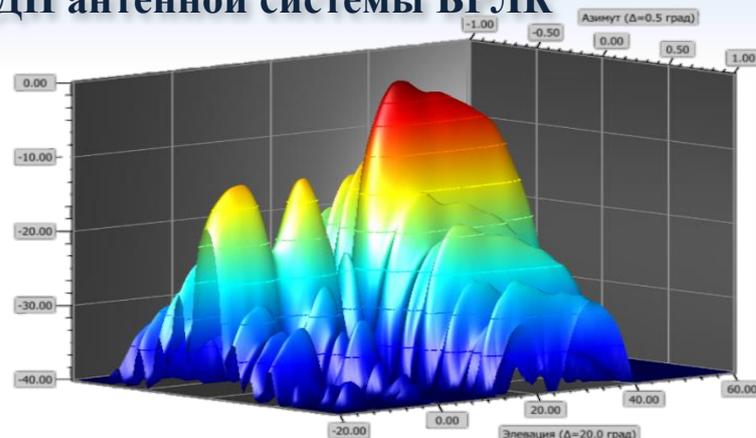


Рис. 3. ДН АФАР: объемная, азимутальное сечение, угломестное сечение

## Параметры установки АФАР на КА

Установка АФАР на КА в маршрутном режиме съемки (геометрия съемки приведена на рис. 4).

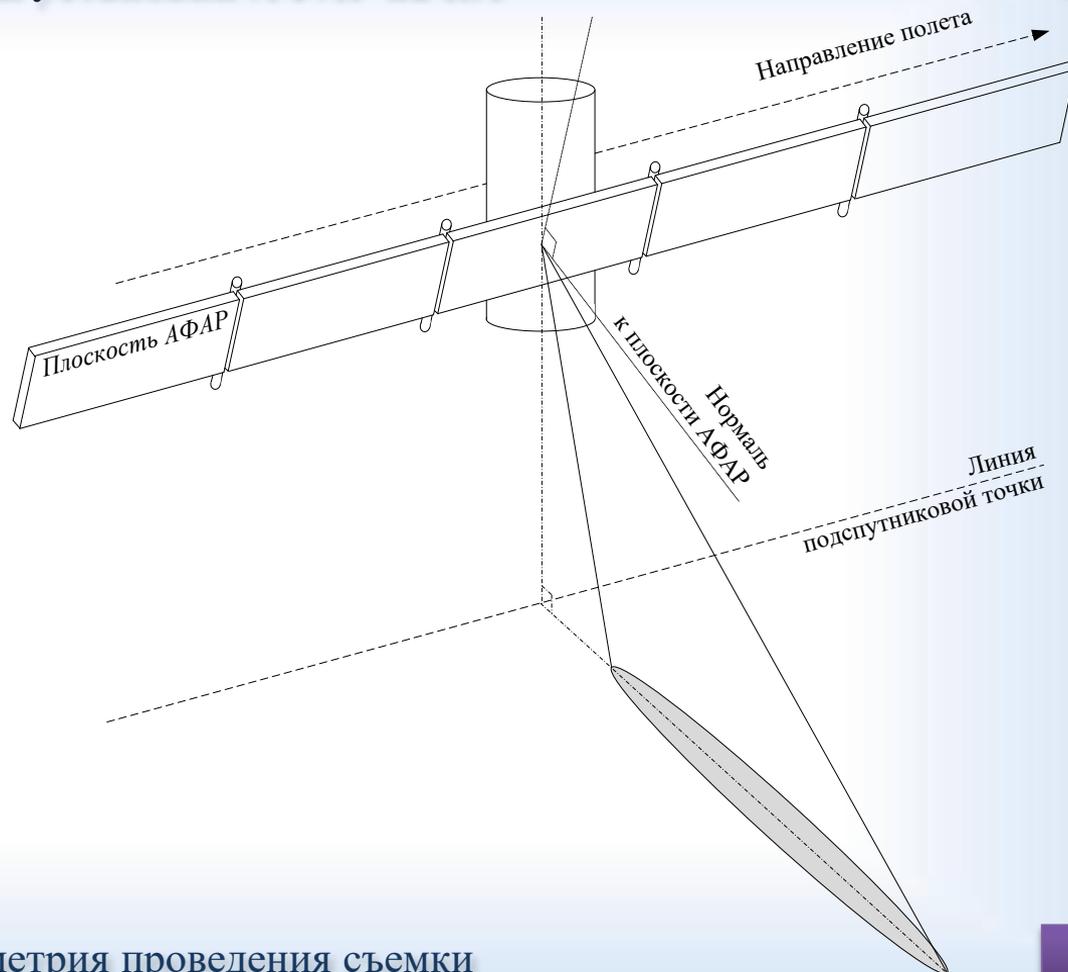
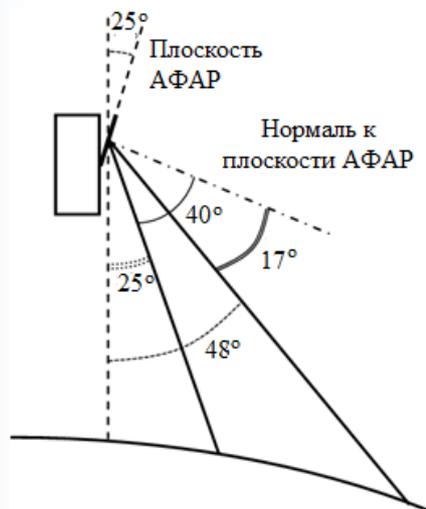


Рис. 4. Геометрия проведения съемки



## Методика верификации характеристик БРЛК на орбите

1. На этапах создания, настройки и проведения испытаний антенны в наземных условиях перед установкой БРЛК на КА проводится настройка и измерение ее ДН.

*Изменение характеристик аппаратуры БРЛК после вывода на орбиту не может быть с достаточной точностью определено на этапе наземной отработки. Предложенная функциональная схема построения антенной системы позволяет выполнять коррекцию АФР в раскрыве АФАР после вывода БРЛК на орбиту.*

2. Методика коррекции характеристик аппаратуры на орбите включает следующие шаги:

2.1 Измерение ДН АФАР после вывода ее на орбиту в режимах излучения и приема для определения соответствия параметров формируемой ДН требуемым значениям.

2.2 Измерение ДН каждой секции и определение ее соответствия расчетной форме.

2.3 Измерение ДН одновременно включенных двух и более секций и определение угла их взаимного поворота. По результатам расчетов выполняется коррекция геометрии АФАР механическим или электрическим способом и выполняется повторное измерение ДН.

3. В случае если ДН какой-либо секции или ДН АФАР после коррекции геометрии не соответствует заданным требованиям, проводится внешняя калибровка каждого из каналов антенны.

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

На рис. 5 приведена ДН АФАР, полученная после вывода БРЛК на орбиту и развертывания силовой рамы, на рис. 6 – соответствующее радиолокационное изображение.

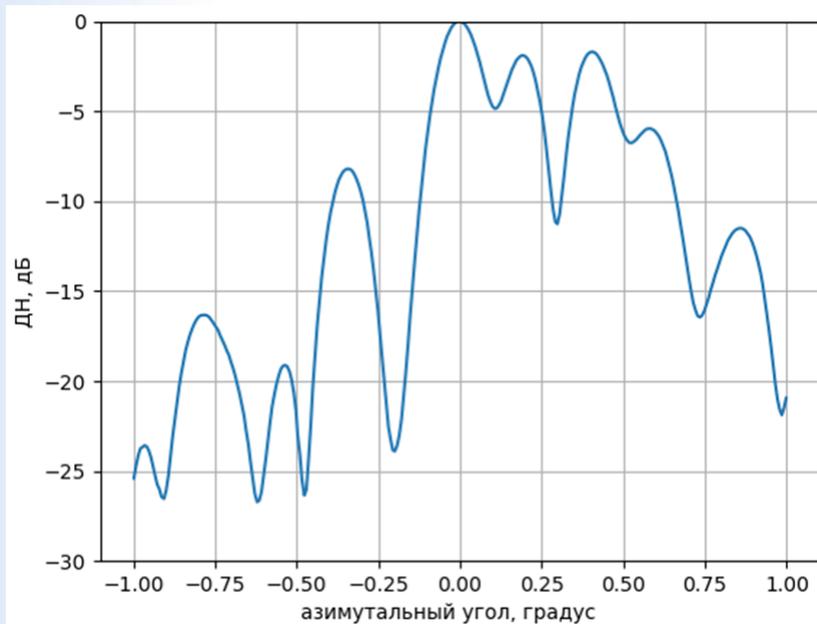


Рис. 5. ДН АФАР, полученная после вывода БРЛК на орбиту

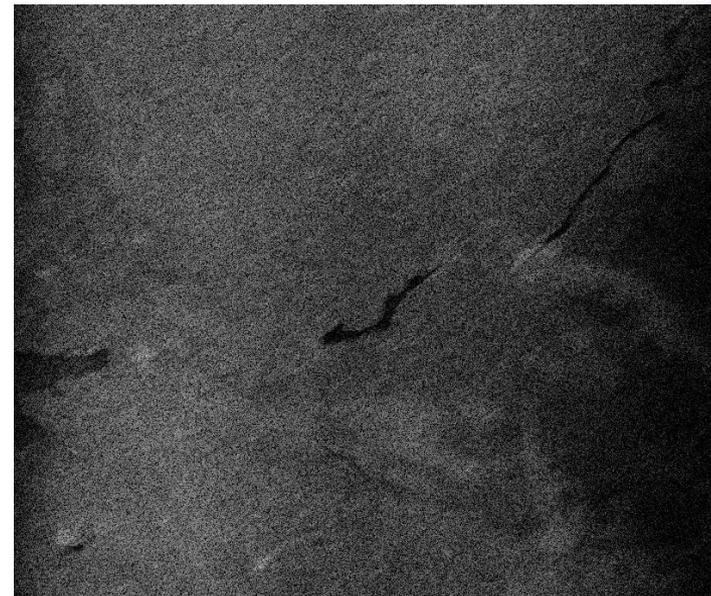


Рис. 6. Радиолокационное изображение, полученное после вывода БРЛК на орбиту

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

Согласно пункту 2 предложенной методики была проведена поэтапная коррекция взаимного положения секций АФАР (механический поворот). ДН совместно включенных двух из пяти секций до и после коррекции положения приведены на рис. 7.

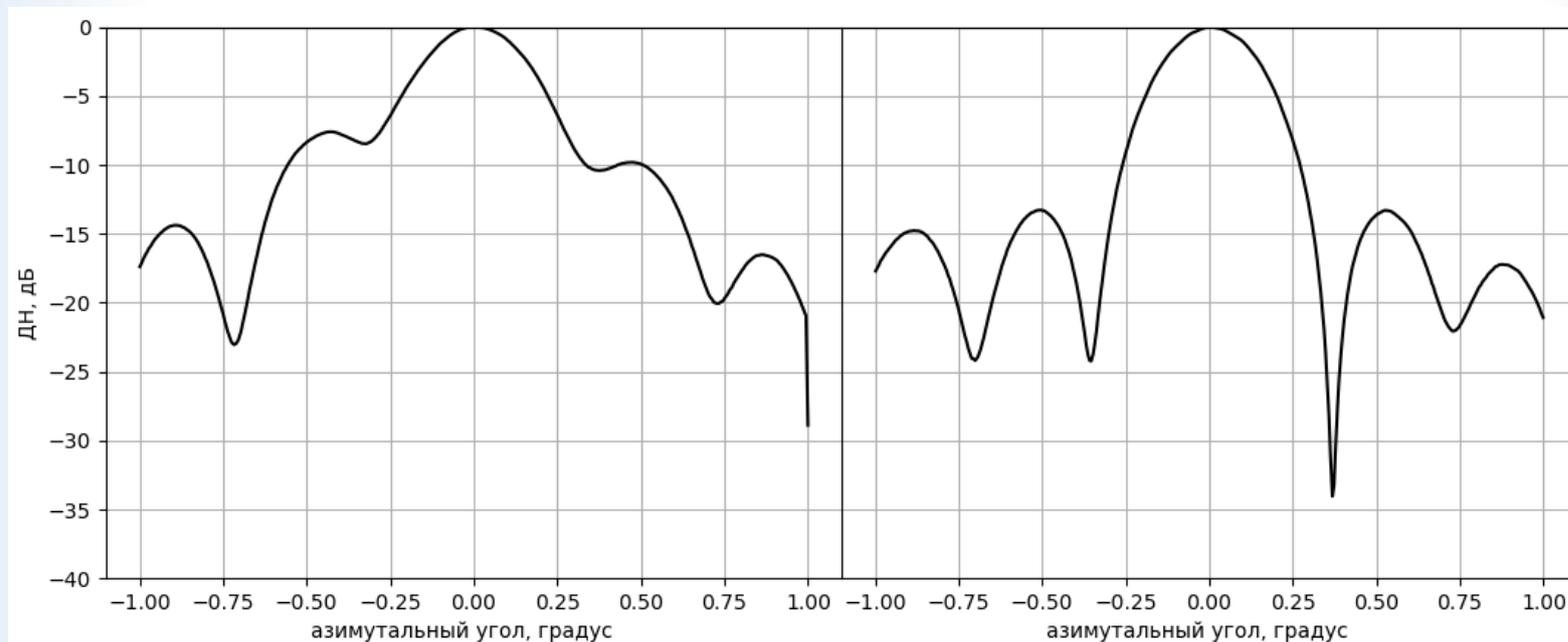


Рис. 7. ДН совместно включенных секций 4 и 5 до и после коррекции геометрии раскрыва

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

На рис. 8, 9 приведены ДН АФАР, полученная после коррекции взаимного положения 4й и 5й секций, и соответствующее радиолокационное изображение.

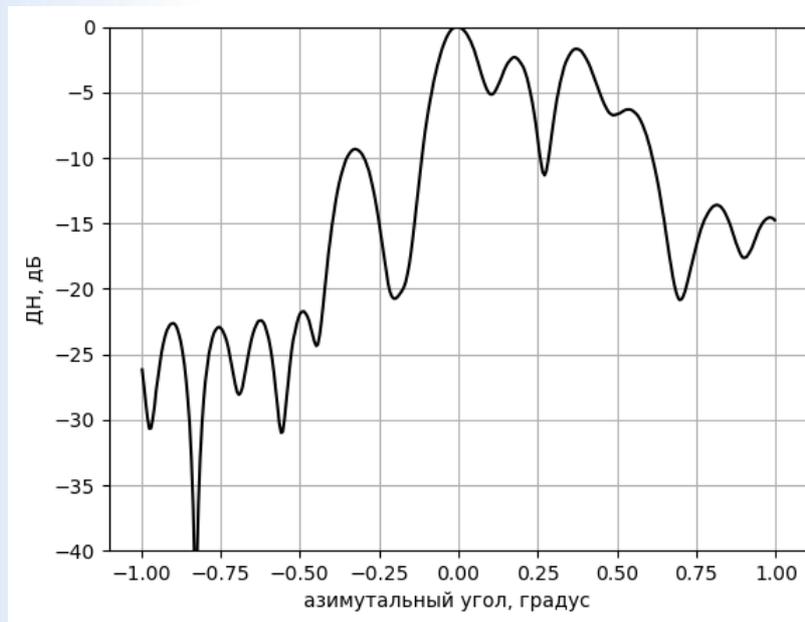


Рис. 8. ДН АФАР, полученная после коррекции взаимного положения 4й и 5й секций

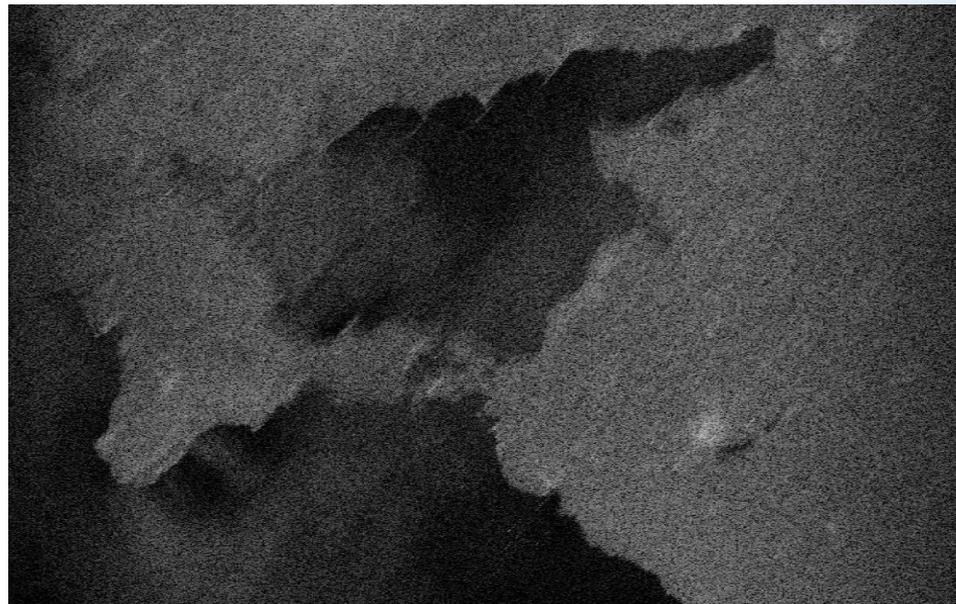


Рис. 9. Радиолокационное изображение, полученное после коррекции взаимного положения 4й и 5й секций

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

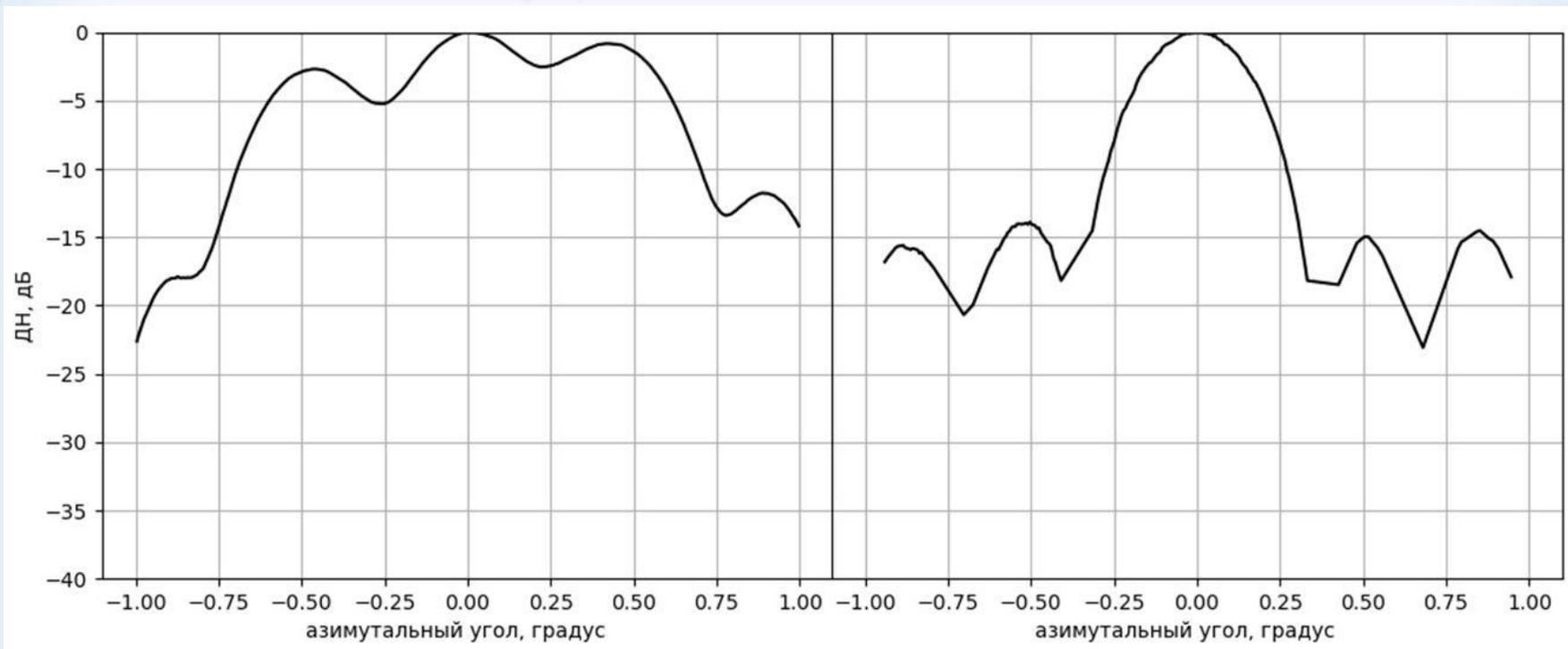


Рис. 10. ДН совместно включенных секций 3 и 4 до и после коррекции геометрии раскрыва

После коррекции геометрии раскрыва для секций 3 и 4 боковые лепестки снижены на 10 дБ и сформированы «провалы» между главным лепестком ДН и первыми боковыми лепестками.

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

На рис. 11, 12 приведены ДН АФАР, полученная после коррекции взаимного положения 3й-4й и 4й-5й секций, и соответствующее радиолокационное изображение.

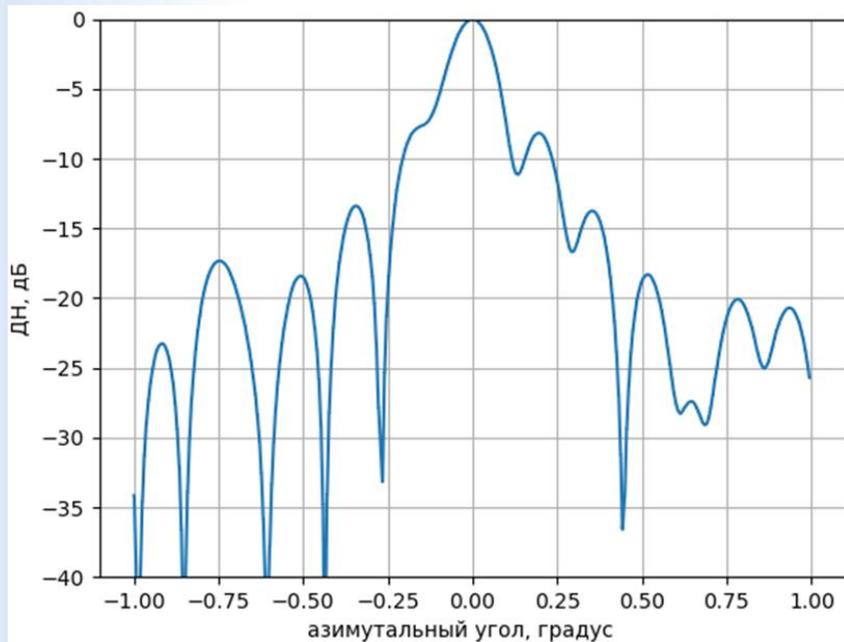


Рис. 11. ДН АФАР, полученная после коррекции взаимного положения 3й-4й и 4й-5й секций



Рис. 12. Радиолокационное изображение, полученное после коррекции взаимного положения 3й-4й и 4й-5й секций

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

Аналогично выполнен поворот оставшихся секций. На рис. 13 приведены ДН АФАР в азимутальном сечении, измеренные после вывода БРЛК на орбиту (до коррекции параметров антенной системы) и после настройки по предложенной методике.

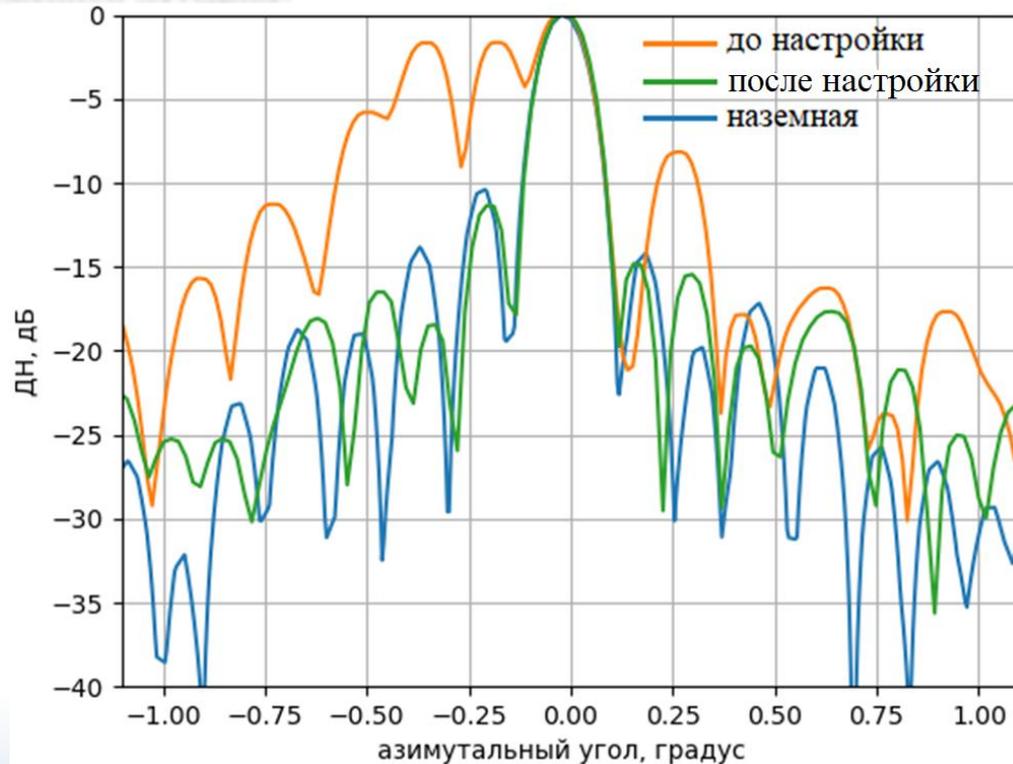


Рис. 13. ДН АФАР БРЛК до и после верификации

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

На рис. 14 показаны радиолокационные изображения, полученные после вывода БРЛК на орбиту (до верификации параметров) и после настройки по предложенной методике.

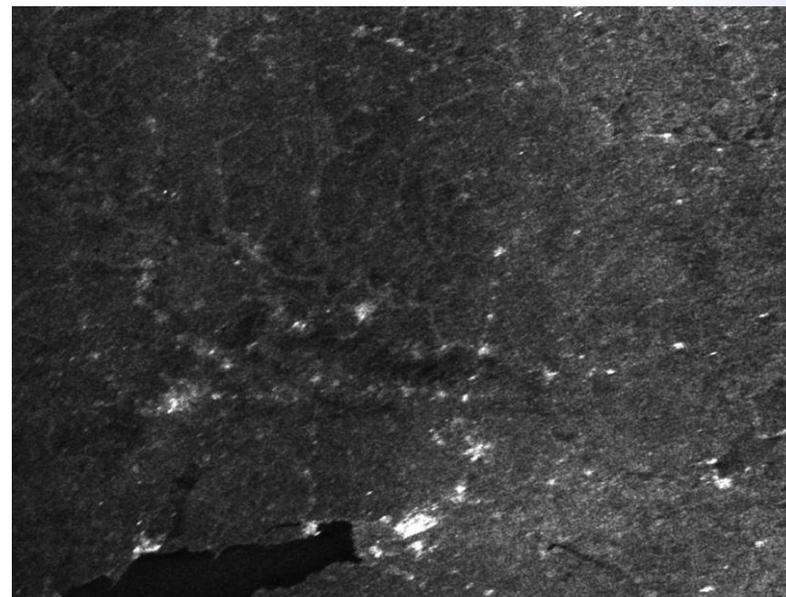
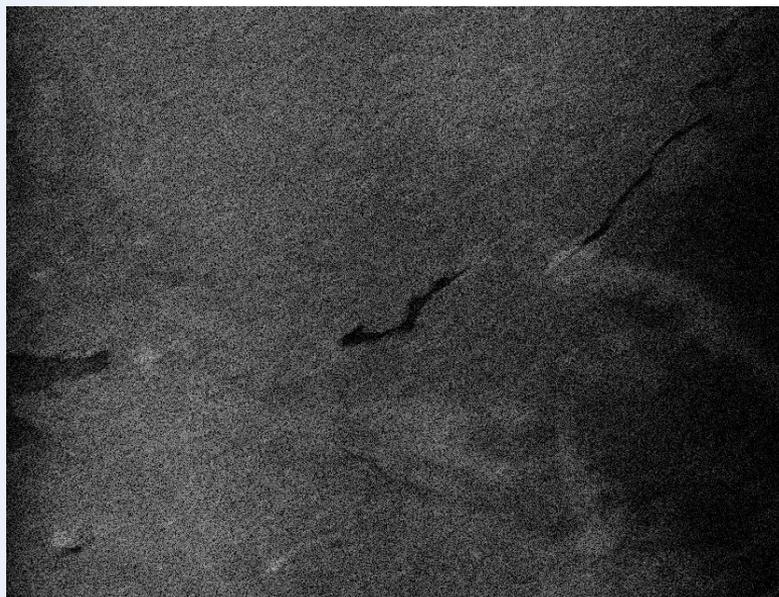


Рис. 14. Радиолокационное изображение Восточной Европы, полученное до и после верификации параметров БРЛК

## Анализ результатов летных испытаний БРЛК

На рис. 15 приведены радиолокационные изображения с указанием пространственного разрешения и ширины полосы съемки.

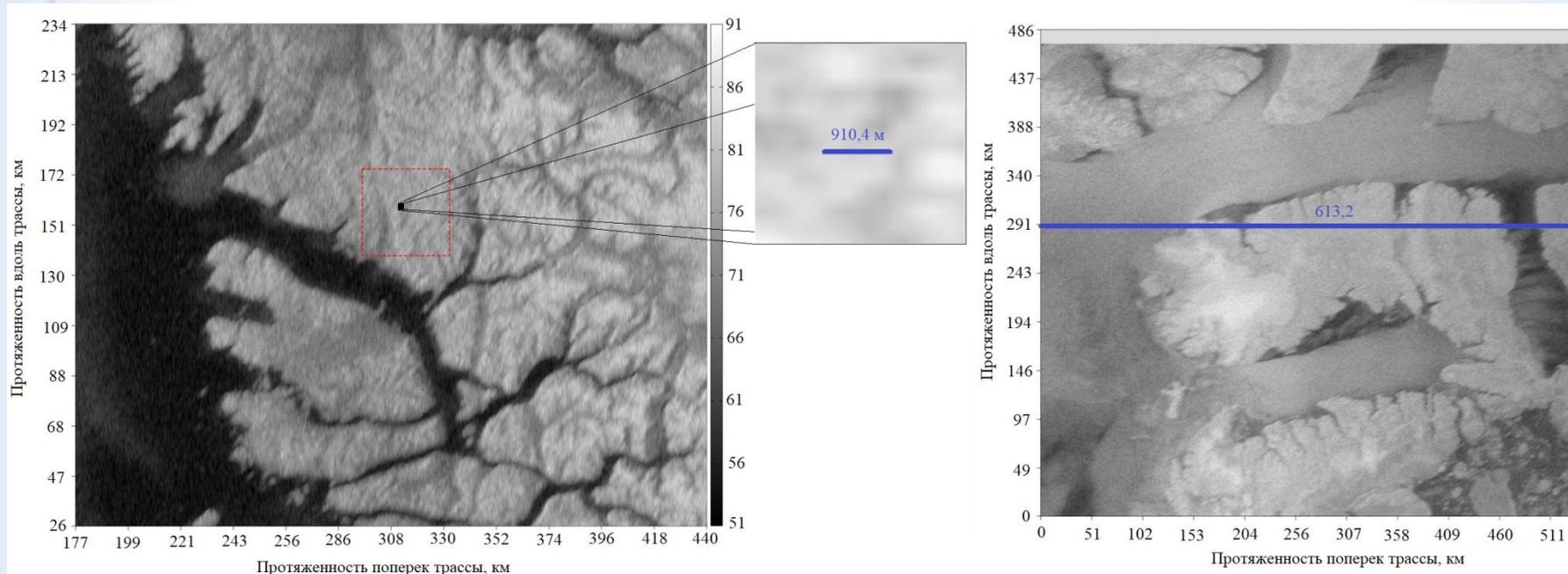


Рис. 15. Радиолокационное изображение о. Гренландия

## Выводы

1. В данном докладе рассмотрены вопросы, касающиеся построения БРЛК КА «Метеор-М» №№ 2-3, 2-4. Для реализации требуемых характеристик БРЛК изготовлена АФАР размером  $13,8 \times 0,3$  м, состоящая из 5 секций. Использование АФАР позволяет скомпенсировать изменение характеристик приемо-передающих трактов антенны, возникающее из-за влияния факторов, связанных с выводом КА на орбиту, разворачиванием излучающего раскрыва АФАР и последующей эксплуатацией БРЛК. Сформированная ДН БРЛК обеспечивает выполнение заданных к аппаратуре требований.

2. Использованная методика верификации характеристик БРЛК, включающая в себя следующие этапы:

- ❖ настройка и измерение ДН АФАР на этапе наземной отработки;
- ❖ измерение ДН АФАР каждой из секция после вывода БРЛК на орбиту и выполнение механической коррекции геометрии раскрыва;
- ❖ выполнение внешней калибровки каналов АФАР в случае, если ДН после механической коррекции геометрии не соответствует заданным требованиям,

позволила сформировать требуемые геометрию и АФР на апертуре излучающего раскрыва.

3. Анализ ДН и радиолокационных изображений, полученных во время ЛИ БРЛК до и после верификации параметров комплекса, показал принципиальную возможность коррекции и управления характеристиками излучения АФАР на орбите.



**Спасибо за внимание!**