



**Первые оценки разрешающей способности МТВЗА-ГЯ
на основе наблюдений солнечного диска**

Садовский И.Н., Сазонов Д.С.
Институт космических исследований РАН, Москва
E-mail: Ilya_Nik_Sad@mail.ru



**Институт Космических Исследований
Space Research Institute**

Актуальность работы:

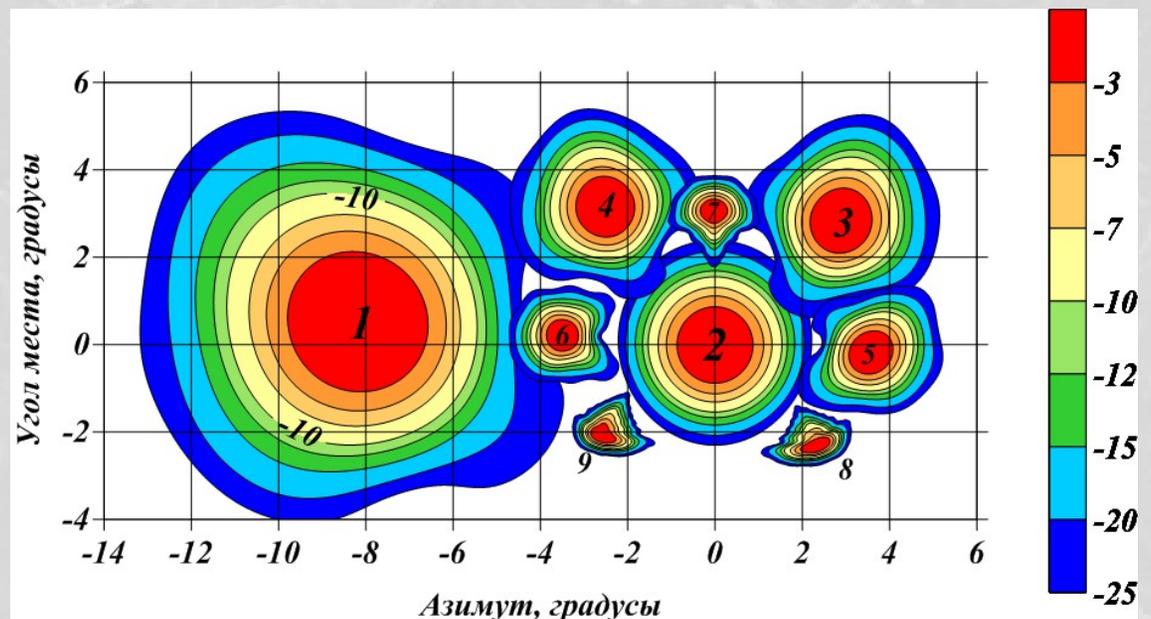
Диаграмма направленности антенной системы является одной из основных характеристик микроволновой системы ДЗЗ.

В литературе отсутствуют сведения об этой характеристике приборов серии МТВЗА (ни модельных, ни экспериментальных).

С учетом геометрии сканирования МТВЗА и смещения лучей визирования различных частотных каналов относительно фокальной плоскости антенны, проведение подобных измерений в наземных условиях представляет собой достаточно сложную техническую задачу.

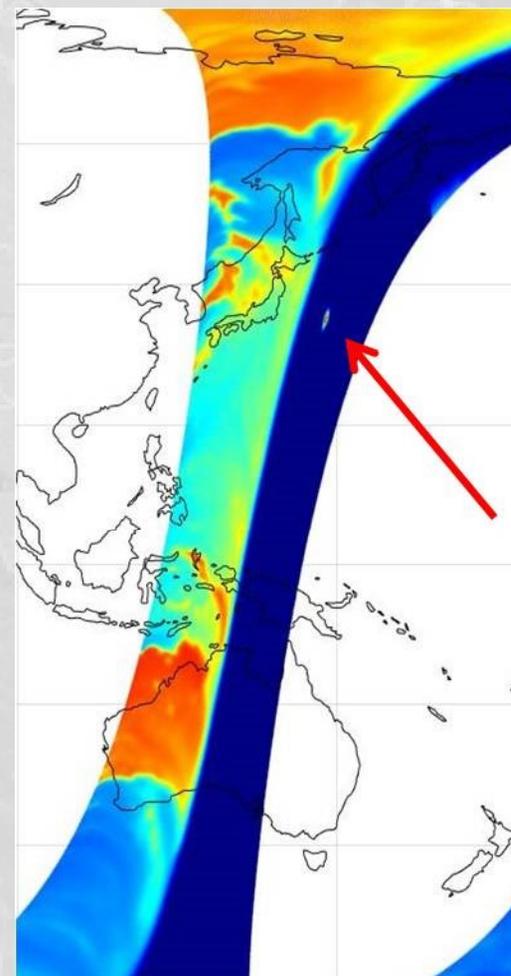
В штатном режиме функционирования на орбите, определение объемной диаграммы направленности прибора не представляется возможным.

$$T_A = \frac{\iint_{4\pi} T_{Я}(\theta, \varphi) P(\theta, \varphi) d\Omega}{\iint_{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega}$$

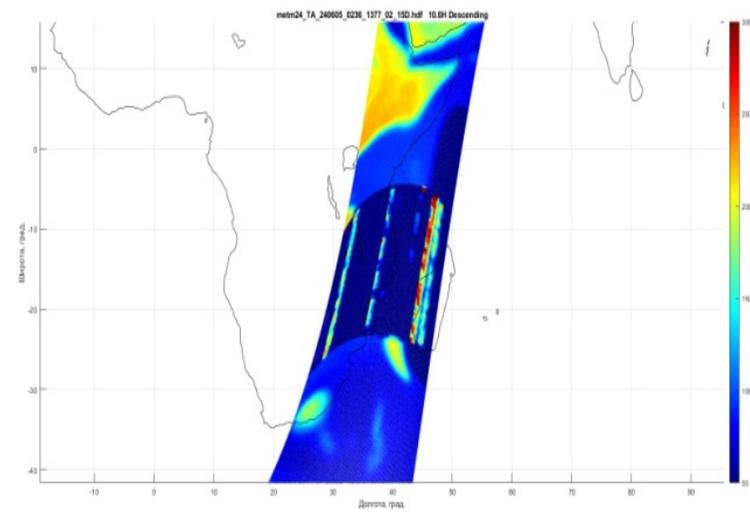
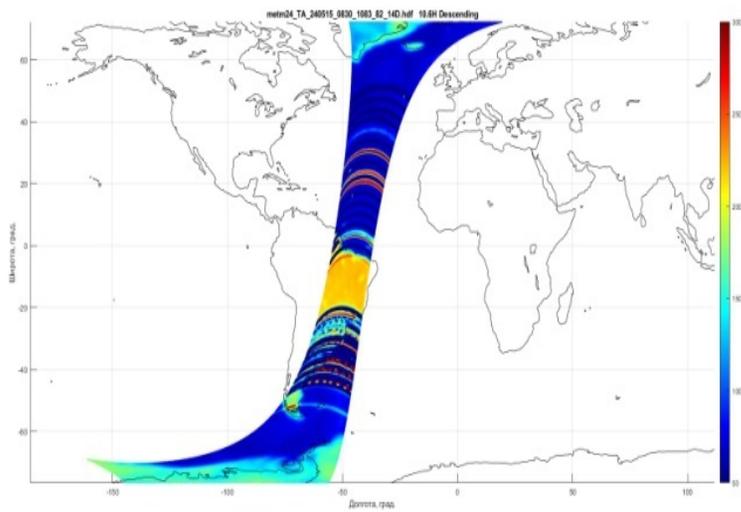
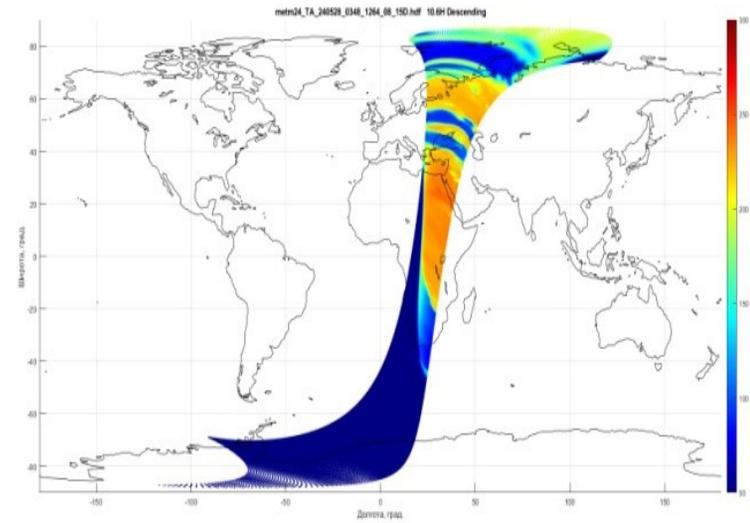
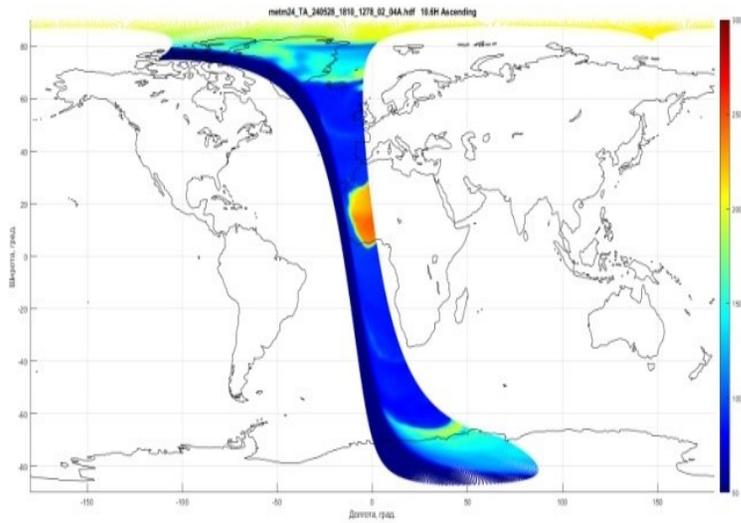


Случаи наблюдения Солнца:

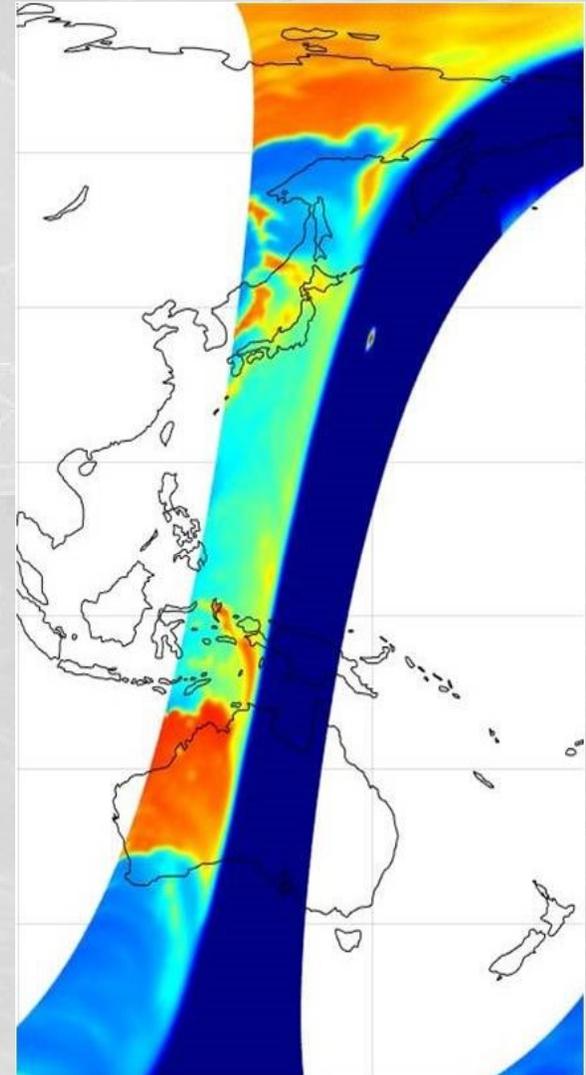
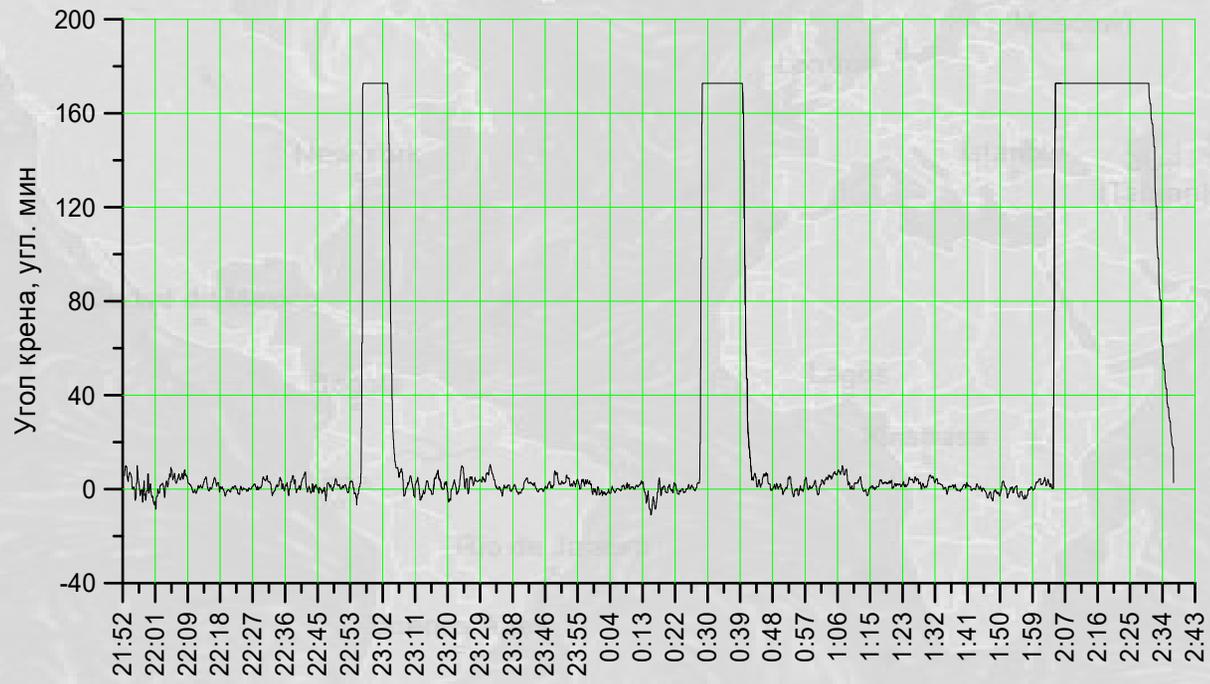
| Дата | Время начала полувитка | Дата | Время начала полувитка |
|------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| 15.05.2024 | 23:42 | 21.05.2024 | 16:28 |
| 16.05.2024 | 01:24 | 21.05.2024 | 18:09 |
| 17.05.2024 | 06:06 | 21.05.2024 | 19:51 |
| 17.05.2024 | 09:28 | 22.05.2024 | 09:21 |
| 17.05.2024 | 19:36 | 23.05.2024 | 19:07 |
| 18.05.2024 | 09:07 | 24.05.2024 | 03:34 |
| 19.05.2024 | 08:45 | 24.05.2024 | 15:23 |
| 19.05.2024 | 09:36 | 24.05.2024 | 18:45 |
| 20.05.2024 | 20:12 | 27.05.2024 | 15:59 |
| | | 27.05.2024 | 21:03 |



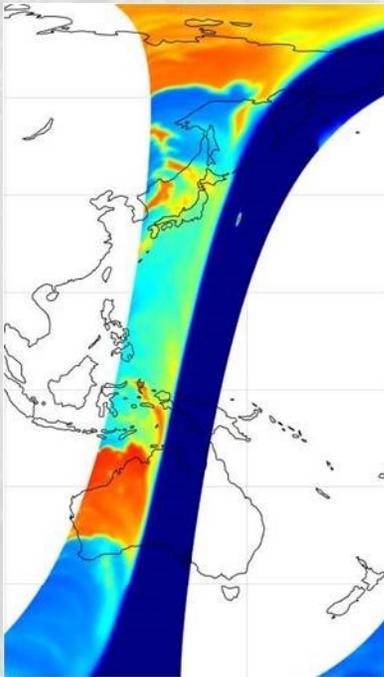
Информация о маневрах КА:



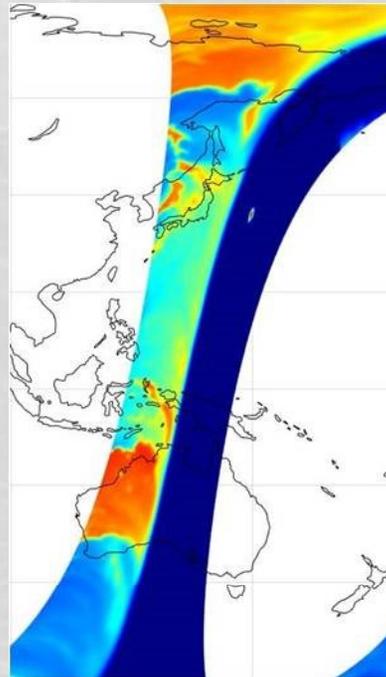
Информация о маневрах КА:



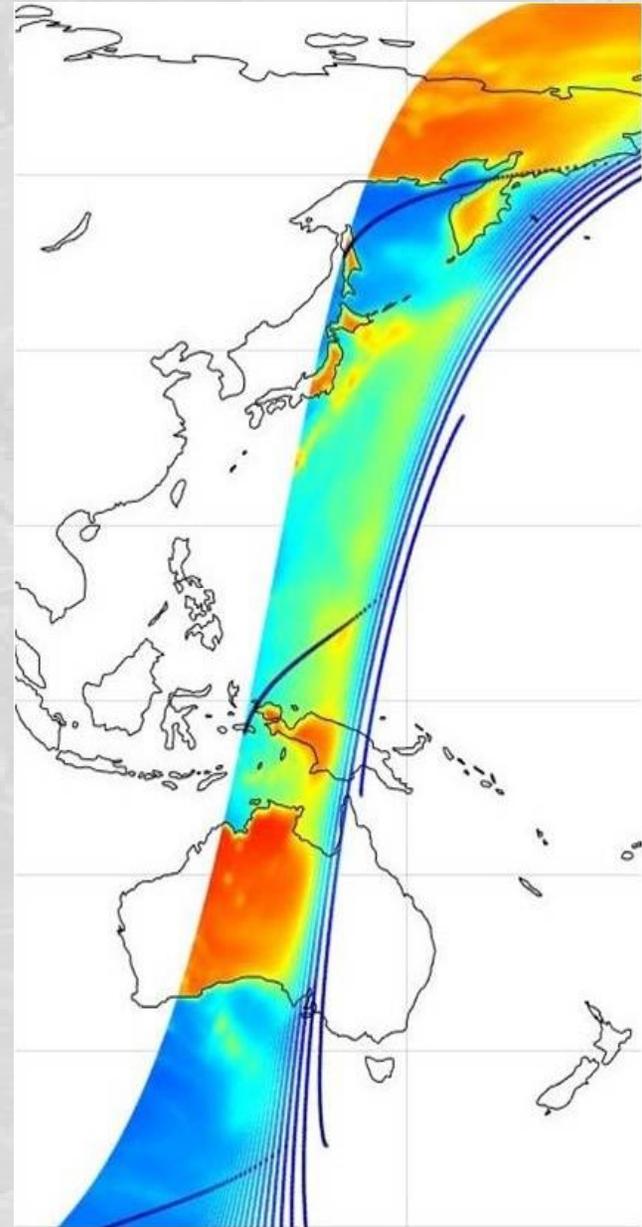
Подбор параметров маневра КА:



Без корректировки



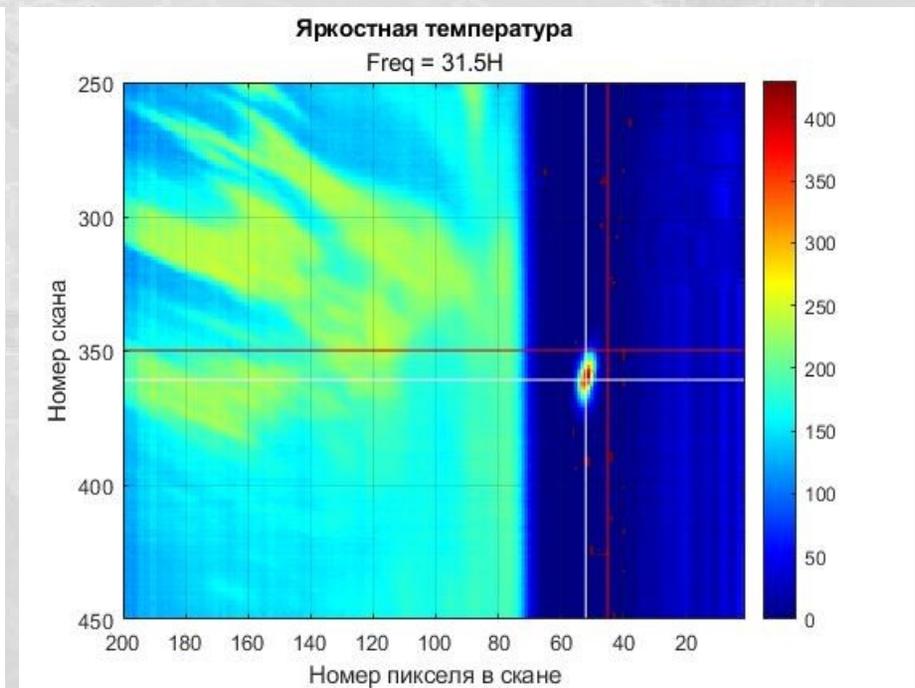
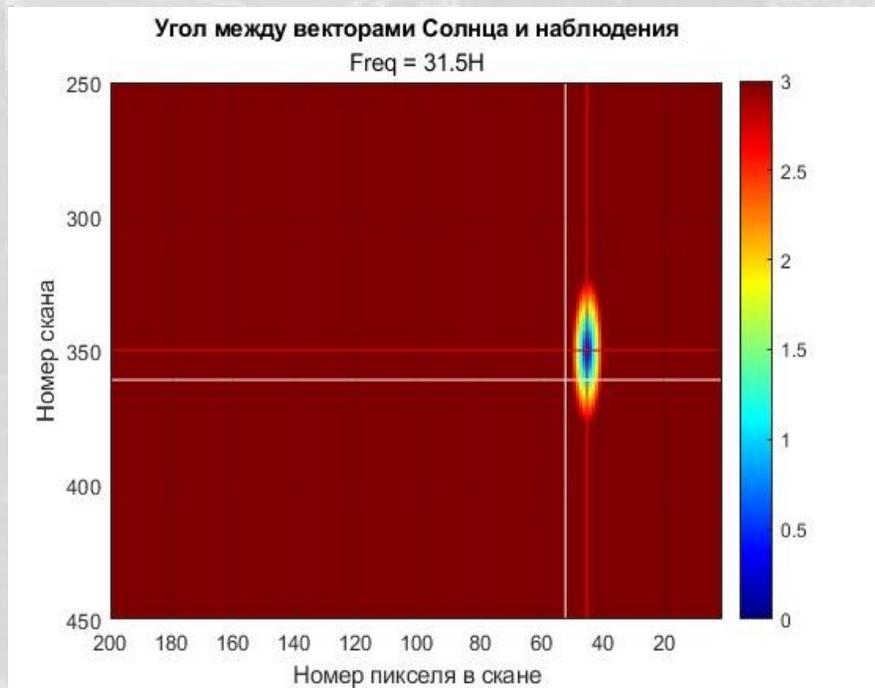
Корректировка на основе данных ЗД



Наилучший результат удалось получить при:
угол крена – $(+25^\circ)$,
угол тангажа – $(- 1^\circ)$,
угол рыскания – $(+5^\circ)$

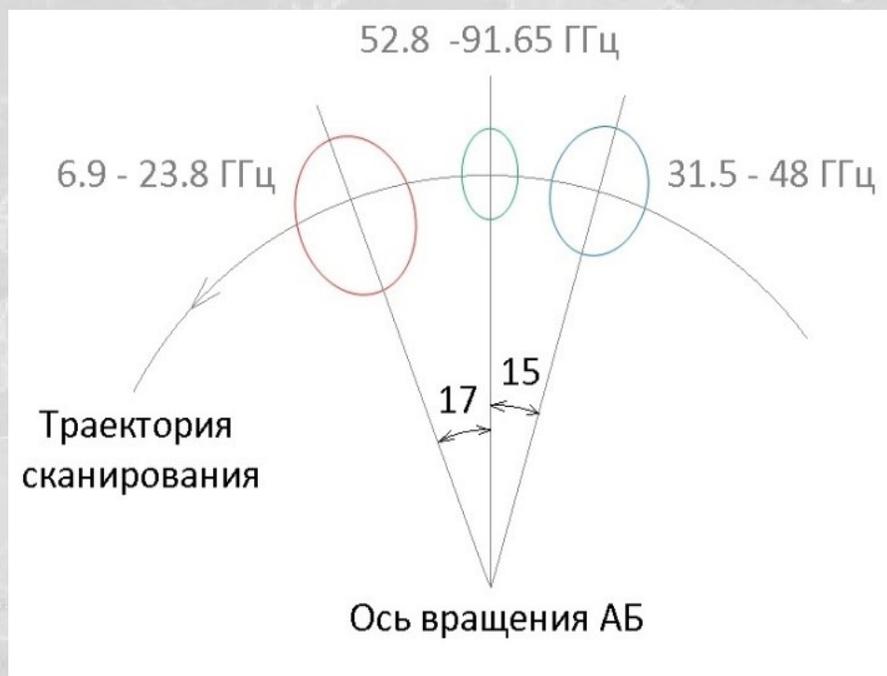
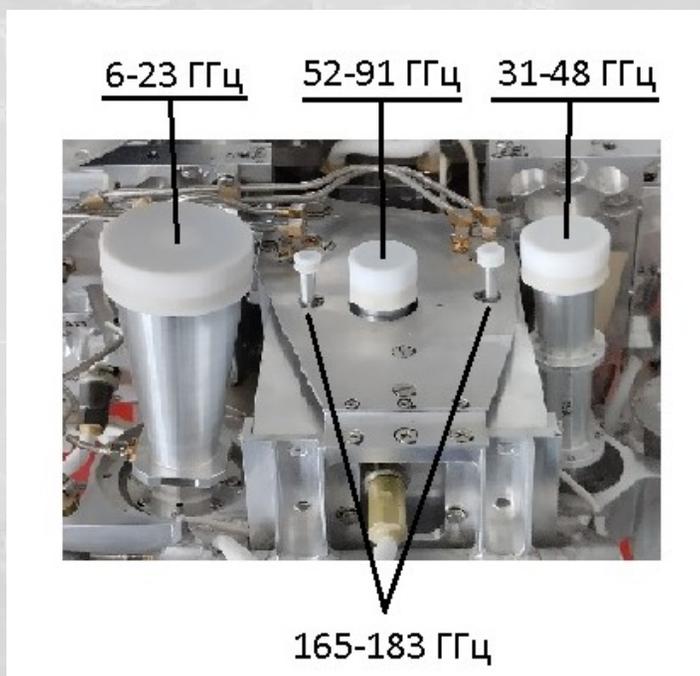
Подтверждение наблюдения Солнца:

Геоцентрическая инерциальная система координат (ИСК). Не вращающаяся прямоугольная система координат $Ox^И y^И z^И$. Начало координат O находится в центре масс Земли. Ось $x^И$ лежит в экваториальной плоскости и направлена в истинную точку весеннего равноденствия. Ось $z^И$ совпадает с осью вращения Земли и направлена на Северный полюс Земли. Ось $y^И$ дополняет систему $Ox^И y^И z^И$ до правой.



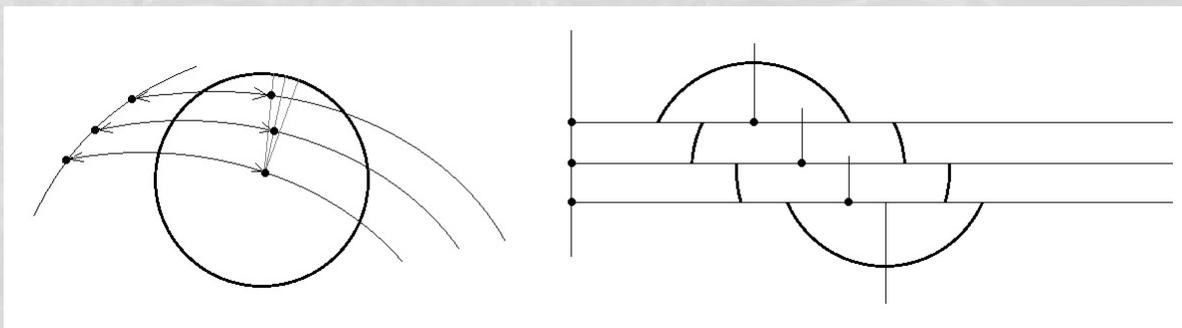
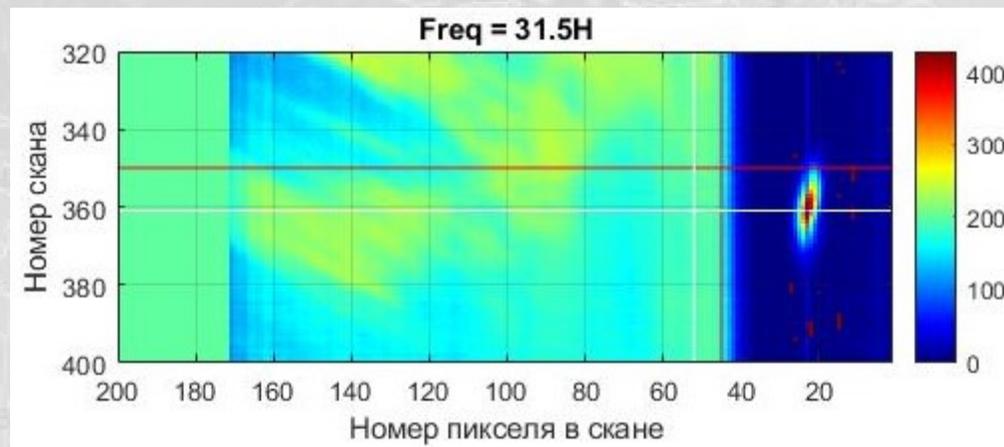
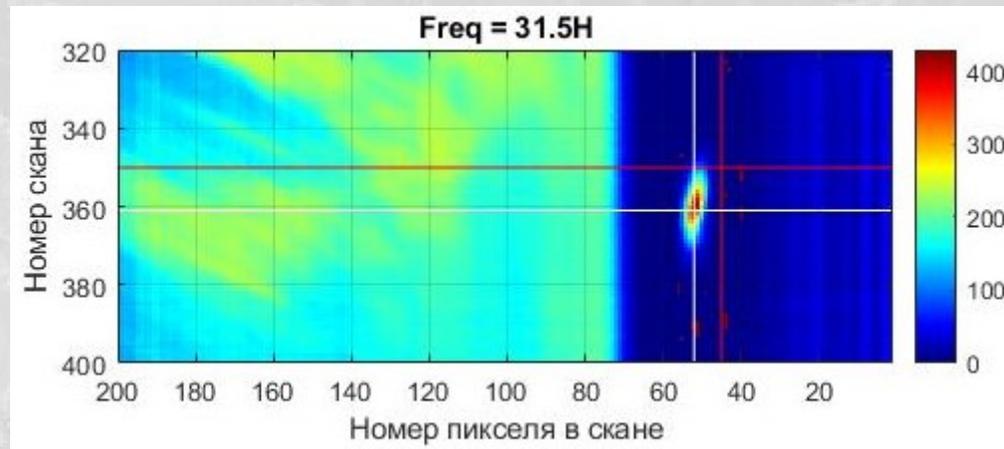
$$\vec{S} = [0.4522 \quad 0.8375 \quad 0.3068]$$

Аппаратное сведение лучей визирования МТВЗА:



| Частотные каналы, ГГц | Ожидаемое отклонение, град. | Корректировка, кол-во элементов скана |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 6.9 – 23.8 | +17 | +12 |
| 165-183 (основной) | +6 | +5 |
| 52.8 – 91.65 | 0 | 0 |
| 165-183 (резервный) | -8.75 | -8 |
| 31.5 – 48 | -15 | -9 |

Аппаратное сведение лучей визирования МТВЗА:



Определение взаимного расположения Солнца и вектора наблюдения МТВЗА:

$$\alpha_{abs} = \arccos(\vec{k} \cdot \vec{S})$$

$$\vec{k} = \vec{k}_E + \vec{k}_H + \vec{O}_{rot} \quad \vec{S}$$

$$\vec{k}_H = \vec{k} \times \vec{O}_{rot}$$

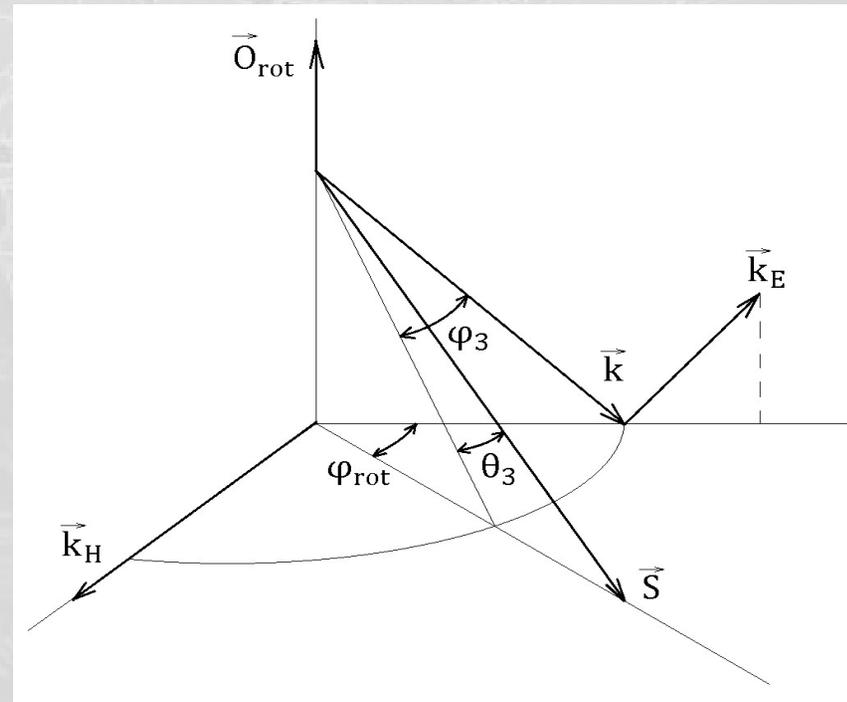
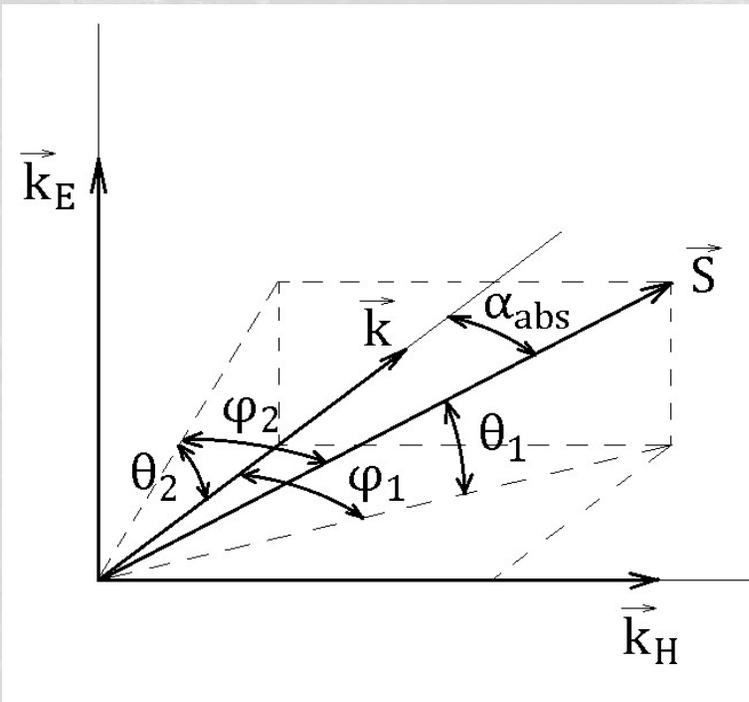
$$\vec{k}_E = \vec{k}_H \times \vec{k}$$

$$(\theta_1, \varphi_1)$$

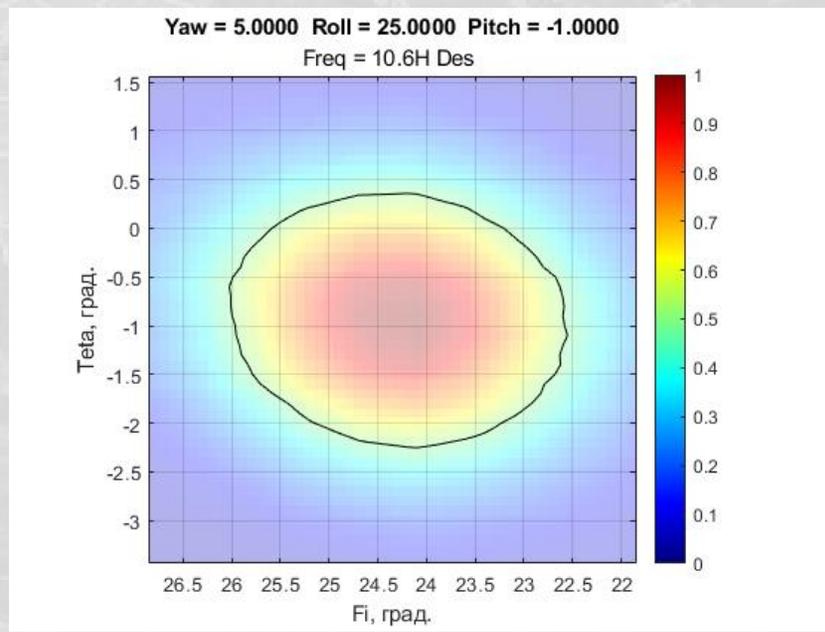
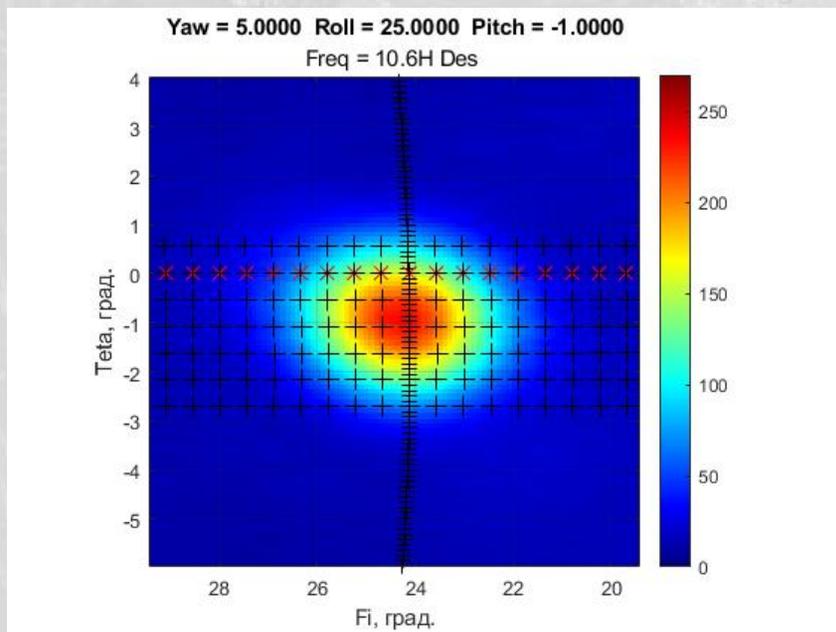
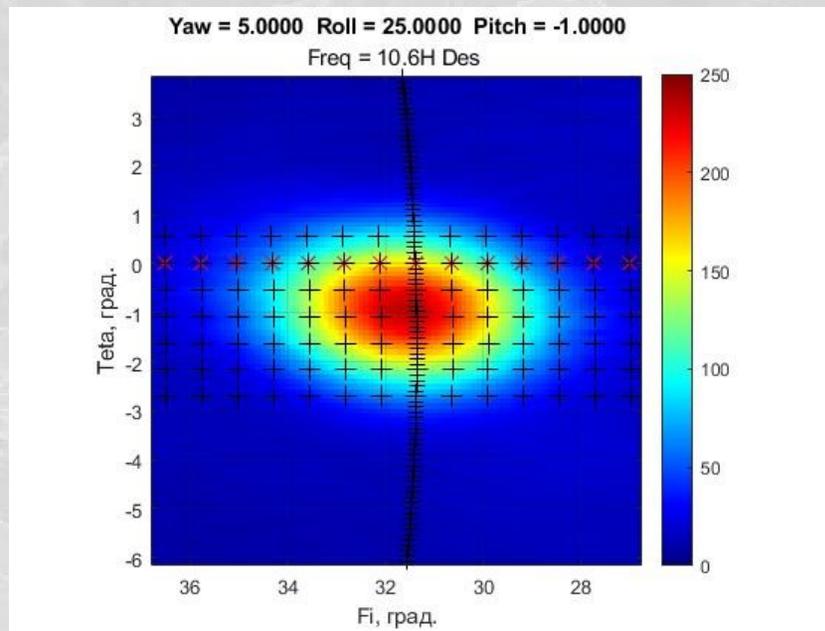
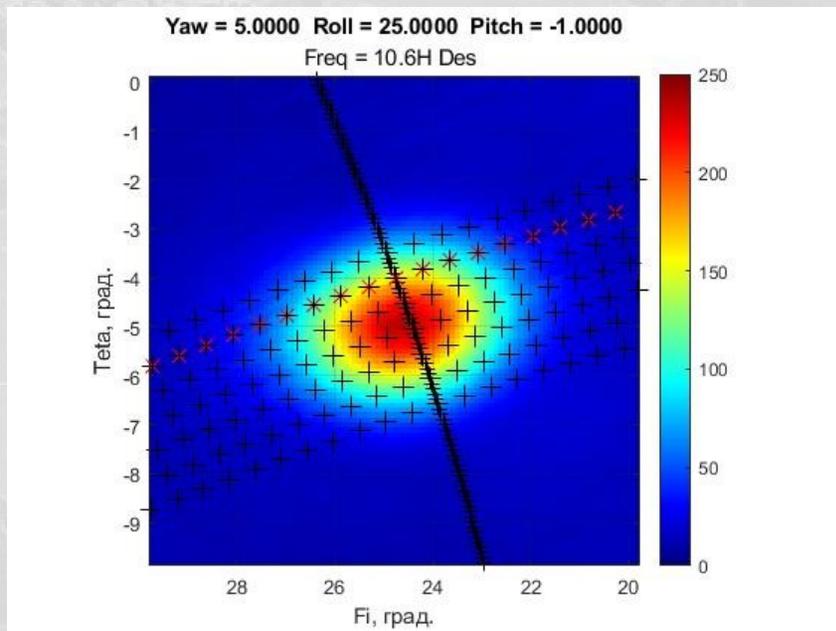
$$\vec{S} = [\vec{k} \cdot \vec{S} \quad \vec{k}_H \cdot \vec{S} \quad \vec{k}_E \cdot \vec{S}]$$

$$(\theta_3, \varphi_3)$$

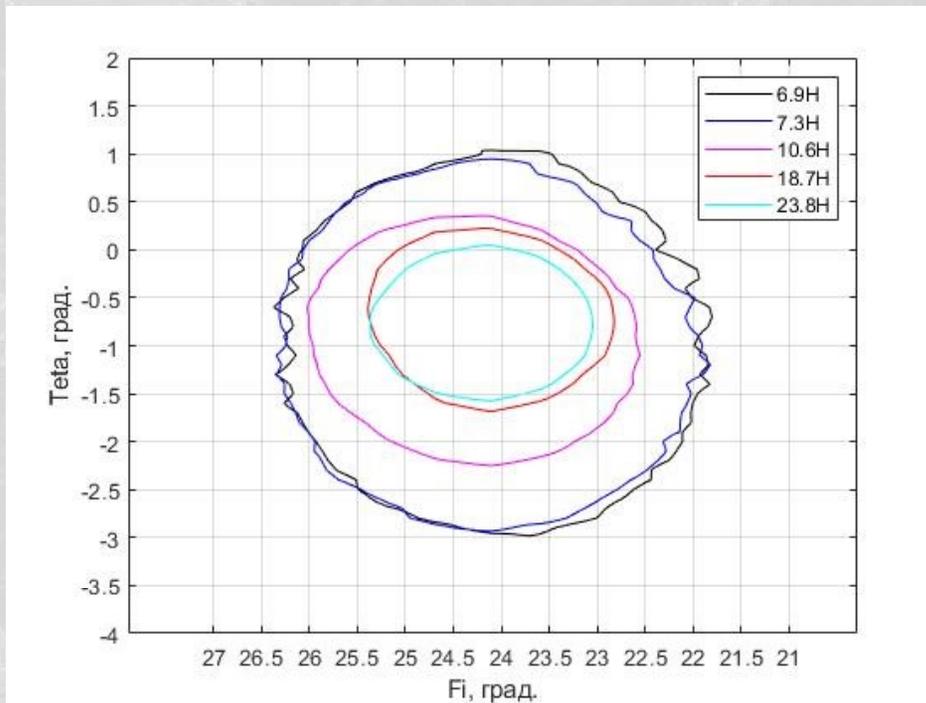
$$\varphi_3 = 2 \cdot \arcsin\left(\sin \frac{\varphi_{rot}}{2} \cdot \frac{1}{\text{tg}(53,3)}\right)$$



Результаты оценки ДН для частот 6.9 – 23.8 ГГц:

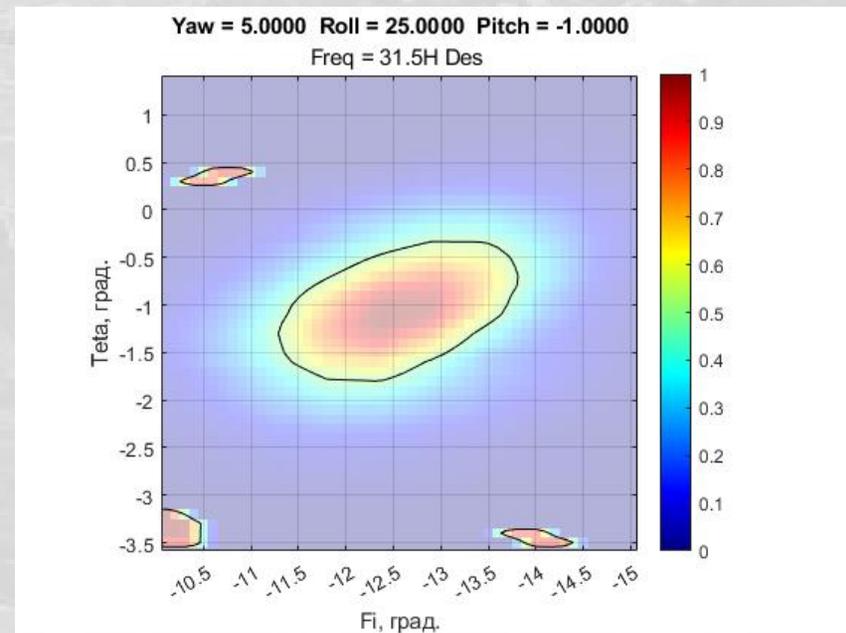
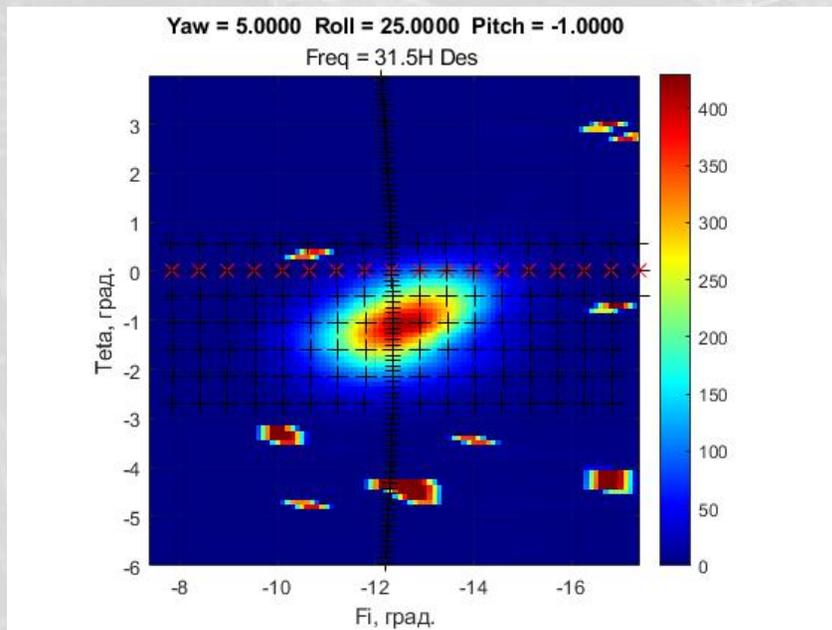
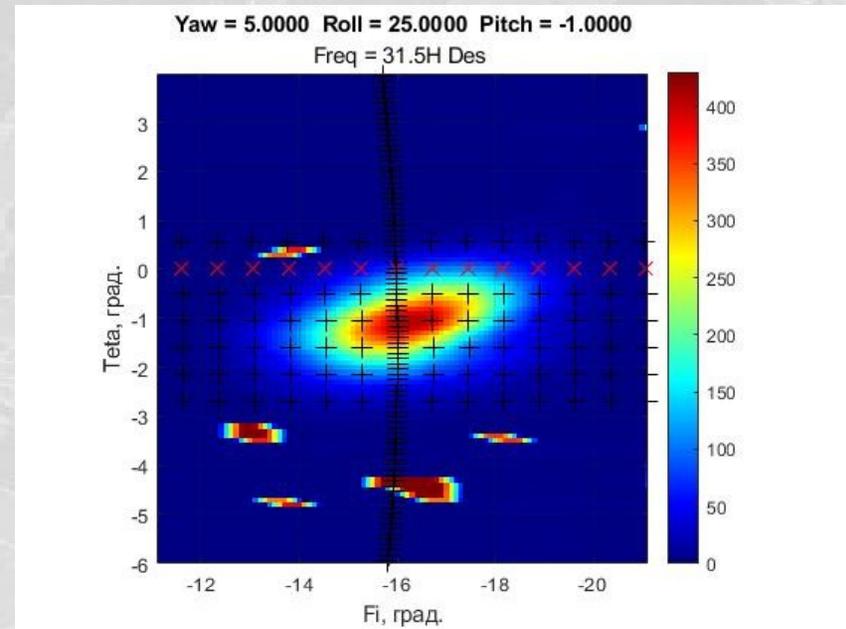
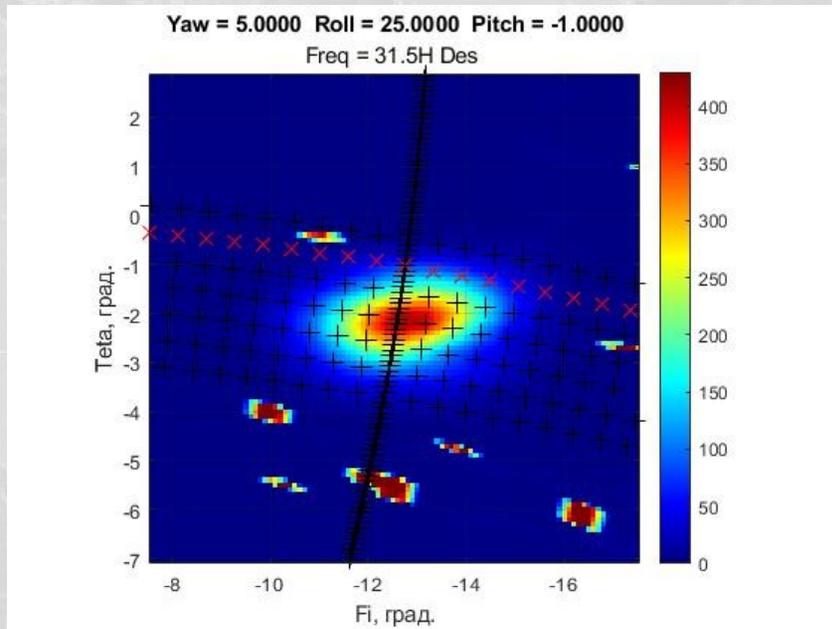


Результаты оценки ДН для частот 6.9 – 23.8 ГГц:

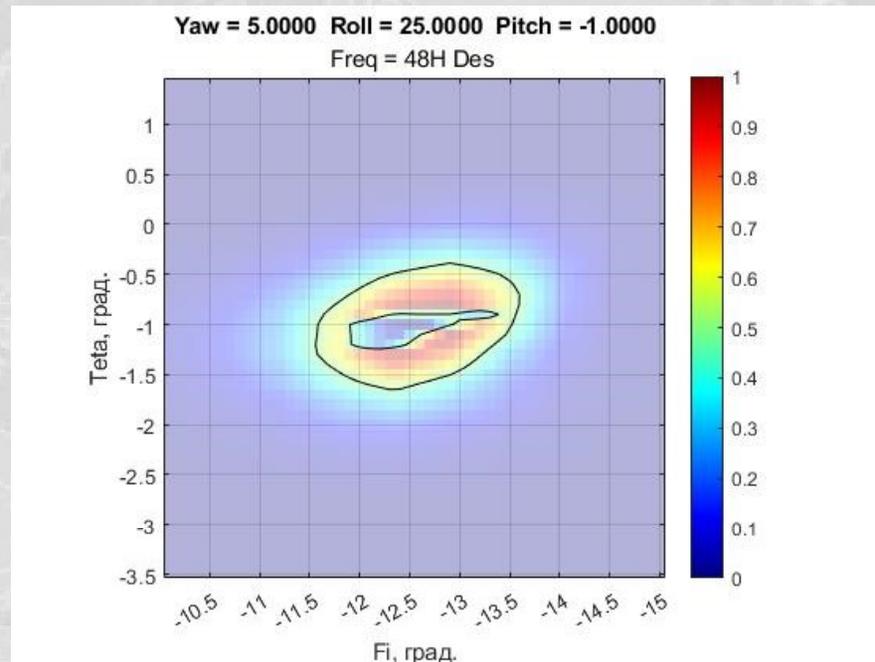
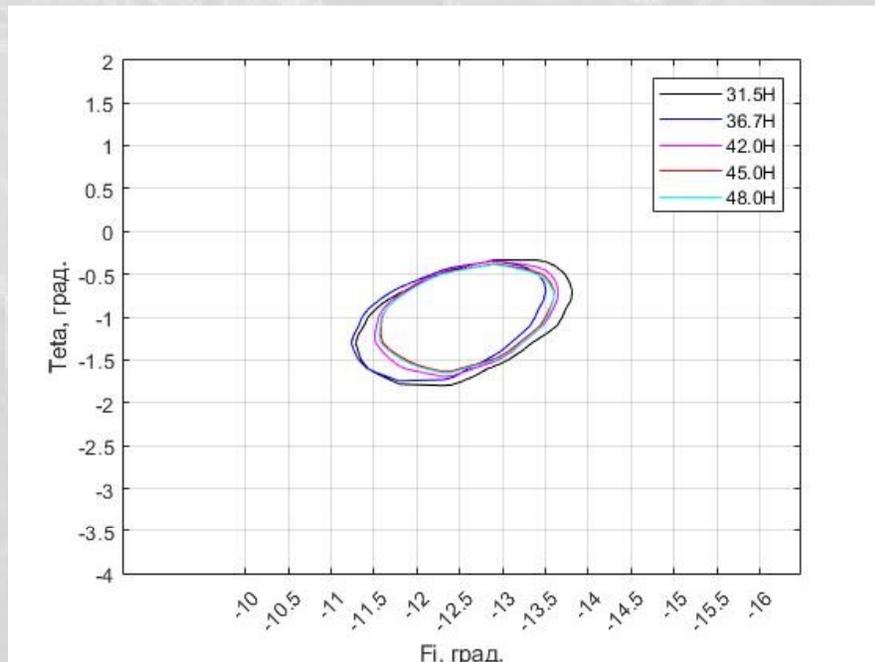


| Частота, ГГц | Заявлено, град. | | Измерено, град. | |
|-----------------|-----------------|------|-----------------|------|
| | Е | Н | Е | Н |
| 6.9 | 4.22 | 4.21 | 3.99 | 4.47 |
| 7.3 | - | - | 3.87 | 4.29 |
| 10.6 | 2.83 | 2.77 | 2.60 | 3.38 |
| 18.7 | 1.81 | 1.65 | 1.90 | 2.56 |
| 23.8 | 1.48 | 1.37 | 1.61 | 2.32 |

Результаты оценки ДН для частот 31.5 – 48.0 ГГц:

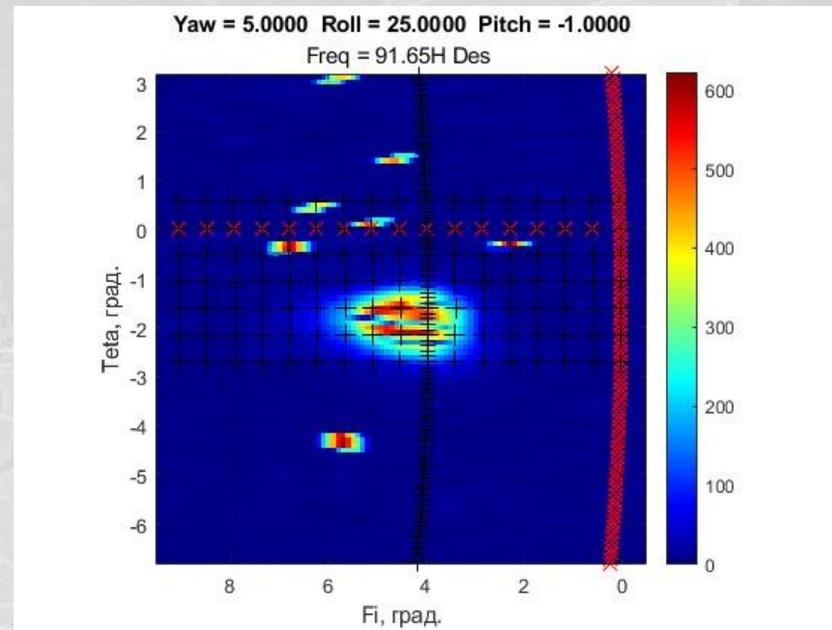


Результаты оценки ДН для частот 31.5 – 48.0 ГГц:

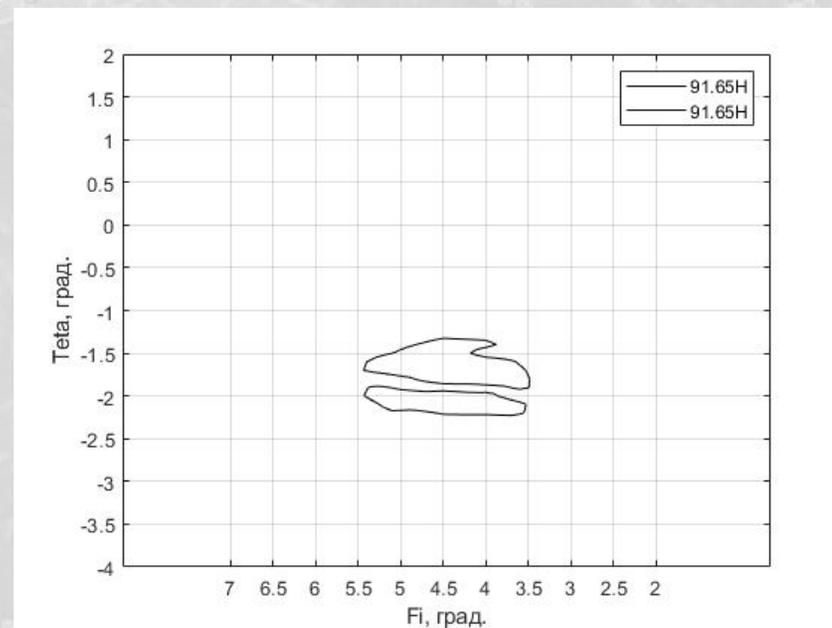


| Частота, ГГц | Заявлено, град. | | Измерено, град. | |
|-----------------|-----------------|------|-----------------|---|
| | Е | Н | Е | Н |
| 31.5 | 0.99 | 0.94 | | |
| 36.7 | 0.88 | 0.82 | | |
| 42.0 | 0.80 | 0.73 | | |
| 45.0 | - | - | | |
| 48.0 | 0.76 | 0.65 | | |

Результаты оценки ДН для частоты 91.65 ГГц:



| Частота, ГГц | Заявлено, град. | |
|-----------------|-----------------|------|
| | Е | Н |
| 91.65 | 0.45 | 0.40 |



Излучение Солнца и характеристики приемников:

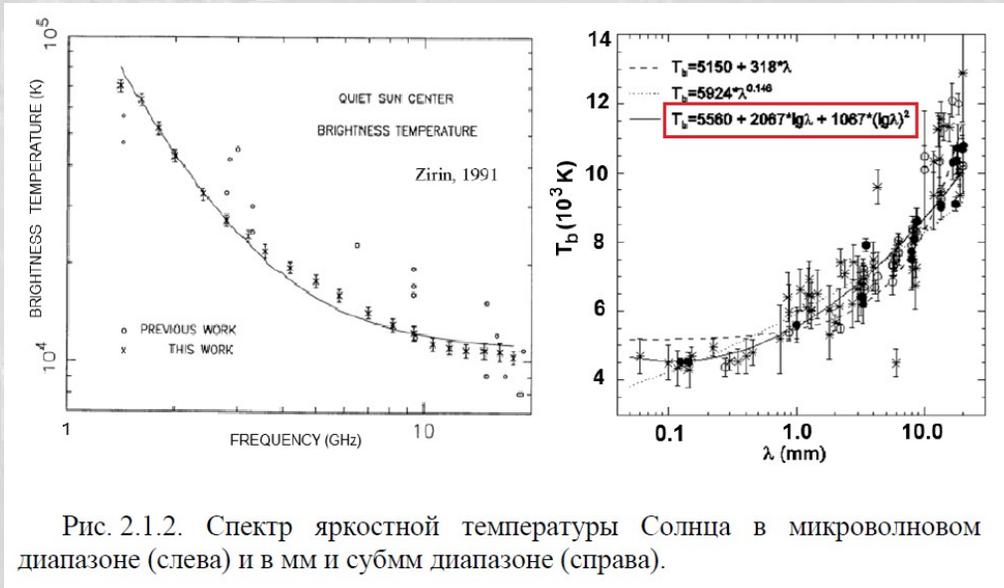
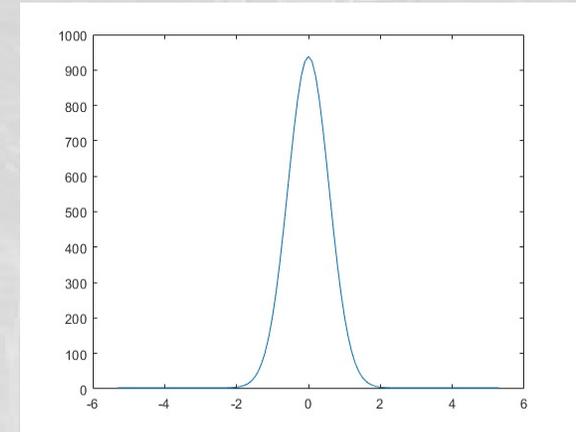
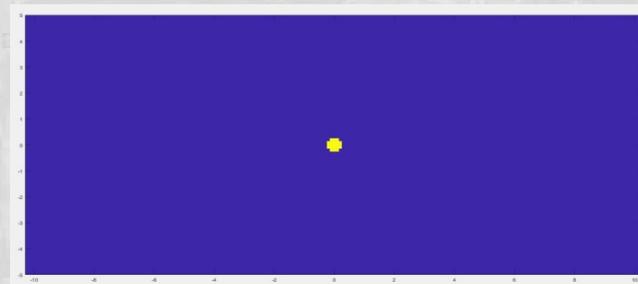
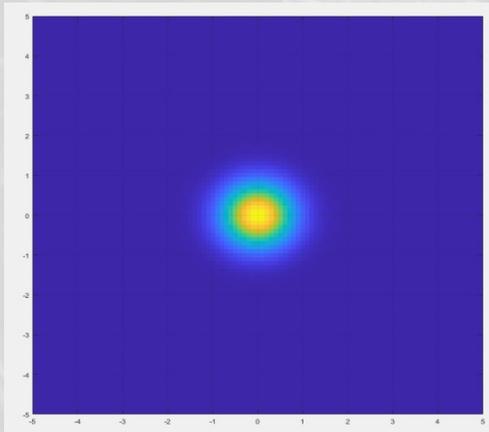
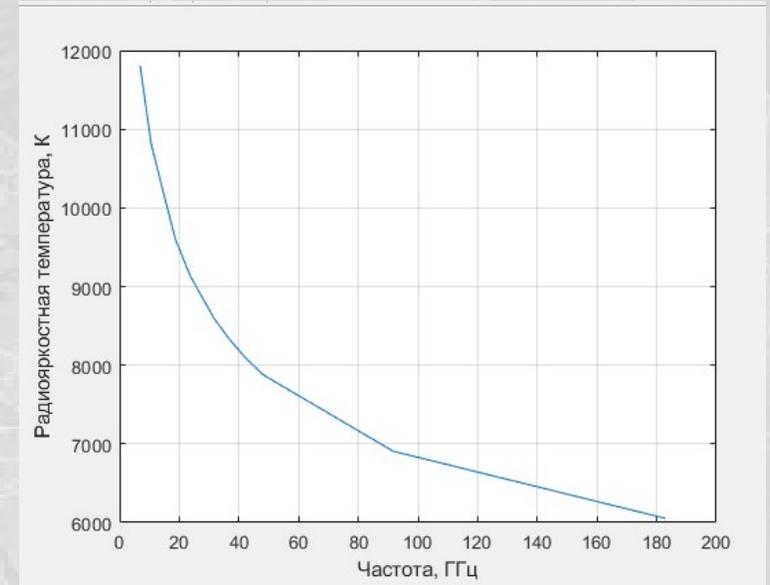
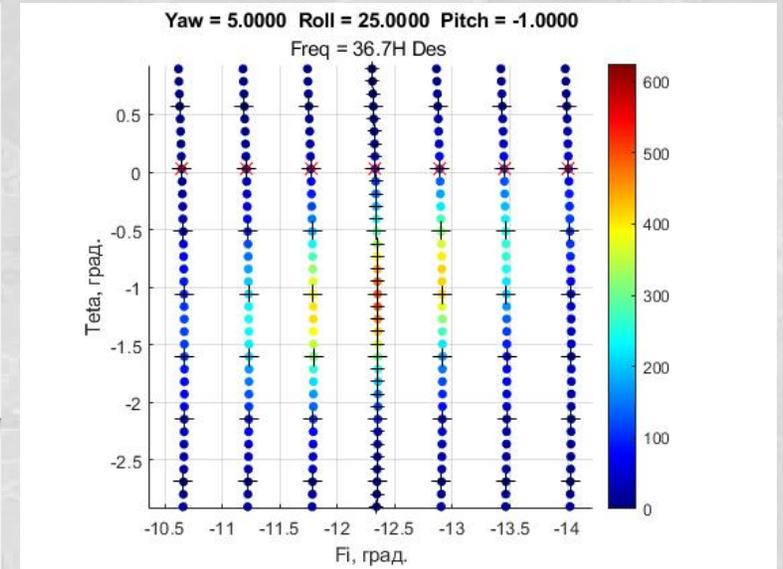
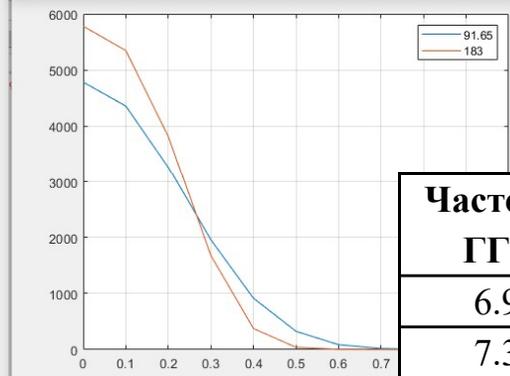
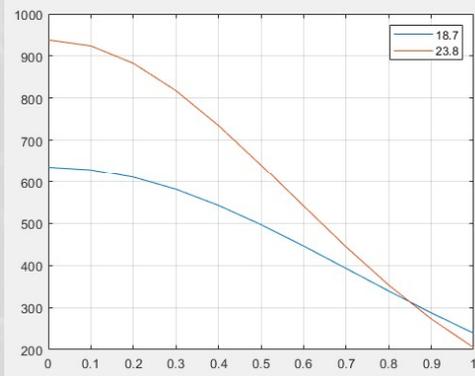
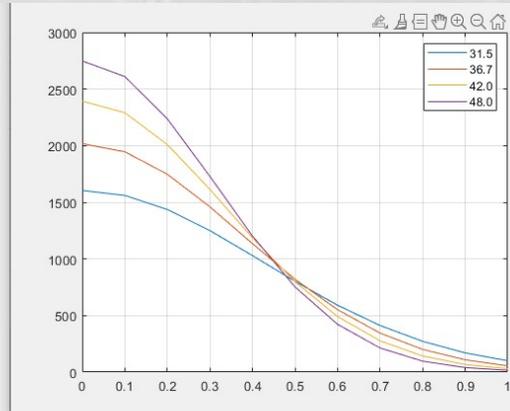
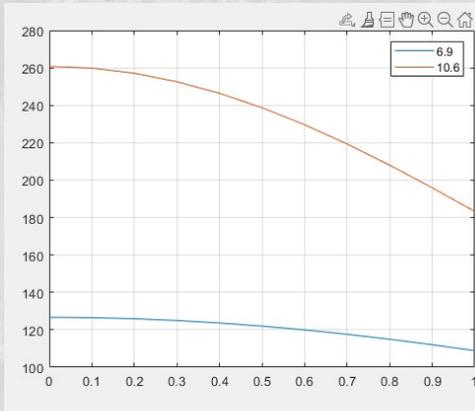


Рис. 2.1.2. Спектр яркостной температуры Солнца в микроволновом диапазоне (слева) и в мм и субмм диапазоне (справа).



Излучение Солнца и характеристики приемников:



| Частота, ГГц | Модель, К | | Измерения, К |
|-----------------|-----------|------|--------------|
| | min | max | |
| 6.9 | 122 | 125 | 157.73 |
| 7.3 | - | - | 161.32 |
| 10.6 | 240 | 260 | 238.5 |
| 18.7 | 500 | 630 | 346.23 |
| 23.8 | 620 | 940 | 347.6 |
| 31.5 | 750 | 1600 | 420.31 |
| 36.7 | 800 | 2000 | 495.28 |
| 42.0 | 750 | 2400 | 553.64 |
| 45.0 | - | - | 614.08 |
| 48.0 | 700 | 2750 | 654.78 |
| 91.65 | 400 | 4800 | 619.99 |

Выводы:

Наблюдения Солнца предоставляют уникальную возможность исследования характеристик антенной системы радиометров спутникового базирования.

По этим измерениям возможно определить пространственную форму диаграммы направленности, взаимную ориентацию лучей визирования различных частотных каналов.

Точность измеряемых характеристик напрямую зависит от наличия информации о параметрах маневров КА, алгоритме аппаратного сведения лучей, детальных характеристик детекторов и т.д.

На основании проведенных работ удалось продемонстрировать практически полное соответствие параметров антенной системы МТВЗА-ГЯ («Метеор-М» №2-4) на частотах 6.8 – 10.6 ГГц, расчетным показателям.

Выполнение корректного анализа на более высоких частотах затруднено следующими факторами: недостаточное угловое разрешение в азимутальной плоскости, нелинейность характеристик радиометрических приемников, их ограниченный диапазон измерений.

Предварительно, можно констатировать, что форма диаграмм направленности частотных каналов 31.5 – 48.0 ГГц имеет ориентацию, отличную от расчетной. Это не только затрудняет оценку ее ширины, но и делает актуальными вопросы о поляризационной ориентации этих каналов, возможных особенностях интерпретации получаемых на соответствующих частотах изображений и т.п.

Авторы выражают благодарность А.М.Стрельцову (АО «Российские космические системы») за своевременное и оперативное предоставление предобработанных данных измерений МТВЗА-ГЯ, использованных в работе; а также В.Б. Хайкину (Специальная астрофизическая обсерватория РАН) за полезные обсуждения.

Работа выполнена при поддержке темы
«Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).

Спасибо за внимание!



**Институт Космических Исследований
Space Research Institute**