

Уточнение параметров антенной системы микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ

И. Н. Садовский¹, А. В. Клитная^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: Ilya_Nik_Sad@mail.ru*

² *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Москва, 119991, Россия*

Работа посвящена исследованию характеристик антенной системы российского микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ (Модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы, ГЯ — в память о Геннадии Яковлевиче Гуськове (1918–2002)), функционирующего в настоящее время на борту космического аппарата «Метеор-М» № 2-4. Периодические манёвры спутника-носителя с изменением угла крена на правый борт (порядка 25°) обеспечивают условия наблюдения солнечного диска и его окрестностей. Солнце является источником стабильного излучения, имеющим малые постоянные угловые размеры и высокую контрастность на фоне реликтового излучения. Это даёт уникальную возможность исследования параметров антенной системы прибора в условиях, недостижимых ни в наземных испытаниях, ни в рамках штатного функционирования прибора на орбите. В работе представлены результаты анализа измерений радиотеплового излучения Солнца, выполненных прибором в период с 15 по 28 мая 2024 г. За это время солнечный диск попадал в поле зрения прибора 22 раза. Общее количество обработанных радиотепловых изображений составило более 500 шт. В рамках проведённых исследований выполнялись оценки ориентации оптических лучей визирования МТВЗА-ГЯ на всех частотных каналах прибора, а также с учётом их поляризационного разделения. Помимо определения координат максимумов диаграмм направленности прибора проводилась оценка их ширины по уровню половинной мощности в двух ортогональных плоскостях. Одним из главных результатов работы следует считать построение целостной картины взаимной ориентации отдельных частотных каналов рассматриваемой версии прибора МТВЗА-ГЯ. Полученная объёмная диаграмма направленности антенной системы этого инструмента будет основой для уточнения алгоритмов географической привязки его измерений, а также для определения степени влияния характеристик антенной системы на качество решения обратных задач дистанционного зондирования, решаемых на их основе.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, СВЧ-радиометрия, микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ, космический аппарат «Метеор-М» № 2-4, ориентация оптических лучей визирования, географическая привязка данных ДЗЗ, наблюдения Солнца

Одобрена к печати: 20.11.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-6-115-124

Введение

Параметры антенн систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются одной из их ключевых характеристик, влияющих не только на уровень детализации получаемых данных (и их потенциальную востребованность при решении обратных задач), но и определяющих общую оптическую схему измерений (тип сканирования, его скорость и т. д.), выбор технологических решений исполнения других элементов и блоков всего комплекса (тип регистрирующих элементов, их чувствительность, объём требуемой памяти и т. д. и т. п.).

Разработка и изготовление антенных систем для микроволновых радиометров спутникового базирования — сложная задача. Необходимость обеспечения максимальных значений коэффициента усиления при заданных требованиях к ширине диаграммы направленности, оптимизация параметров в широком диапазоне частот (от единиц до 200 ГГц), повышенные требования к точности сборки на верхней границе указанного частотного интервала — это лишь часть проблем, с которыми сталкиваются разработчики аппаратуры.

Отдельной задачей становится тестирование антенных систем лётных образцов радиометрических комплексов. Ограничения на линейные размеры тестовых безэховых камер не могут обеспечить измерение характеристик антенн с необходимой точностью в наземных условиях. В рамках лётных испытаний этому мешает относительно малая контрастность излучения объектов на земной поверхности, куда пассивные системы ДЗЗ ориентированы в штатном положении. Для чисто «атмосферных» каналов резкие перепады яркости отсутствуют в принципе, что ещё больше усложняет задачу исследования характеристик аппаратуры на соответствующих частотах.

Как уже было отмечено ранее, знание реальных параметров антенн спутниковых пассивных систем ДЗЗ позволяет корректно их учитывать при решении обратных задач. Для единственного представителя российского сегмента сканирующих микроволновых радиометров — МТВЗА-ГЯ (Модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы, ГЯ — в память о Геннадии Яковлевиче Гуськове (1918–2002)), функционирующего в настоящее время на борту космического аппарата (КА) «Метеор-М» № 2-4 (см., например, работу (Барсуков и др., 2025)), информация о соответствии запланированных характеристик его антенной системы реальным отсутствует.

В публикациях (Садовский, Сазонов, 2024, 2025) была продемонстрирована возможность исследования параметров антенны МТВЗА-ГЯ по результатам сканирования окрестностей солнечного диска, ставшего возможным в результате штатных манёвров спутника-носителя.

Цель настоящей работы — накопление и обобщение данных о характеристиках антенной системы МТВЗА-ГЯ на основе анализа более 20 случаев наблюдений Солнца, полученных на этапе лётных испытаний прибора.

Описание имеющегося набора данных

Приводится анализ измерений, выполненных МТВЗА-ГЯ в период с 15 по 31 мая 2024 г. За это время было зафиксировано несколько эпизодов отклонения КА от своей штатной ориентации длительностью от нескольких минут до 2–3 ч. При этом для части нисходящих полувитков обеспечивались условия прямых наблюдений солнечного диска. Их полный список, с указанием времени начала каждого, представлен в *табл. 1*.

Таблица 1. Даты и время наблюдения солнечного диска

Дата	Время начала полувитка	Дата	Время начала полувитка
15.05.2024	23:42	21.05.2024	19:51
16.05.2024	01:24	22.05.2024	09:21
17.05.2024	06:06	23.05.2024	19:07
	09:28	24.05.2024	03:34
	19:36		15:23
18.05.2024	09:07		18:45
19.05.2024	08:45	27.05.2024	15:59
19.05.2024	09:36		21:03
20.05.2024	20:12	28.05.2024	17:19
21.05.2024	16:28		20:41
	18:09		22:23

Как видно из представленных данных, ожидаемое число радиометрических изображений Солнца и прилежащих областей космического пространства должно было составить 22 шт. на каждый частотный канал МТВЗА-ГЯ. При этом реальное количество пригодных для последующей обработки данных оказалось меньше. Так, в указанный промежуток времени из-за

технических проблем практически полностью отсутствуют данные измерений на частоте 45,0 ГГц (на обеих поляризациях — вертикальной V (*англ.* vertical) и горизонтальной H (*англ.* horizontal)). Пустые массивы (с выставленными *in-valid* значениями) присутствуют в файлах с данными МТВЗА-ГЯ на каналах 7,3 ГГц (H), 91,65 ГГц (H) и 183,0 ГГц (V) (самое большое количество пропусков). Также в части измерений зафиксированы случаи резкого роста уровня инструментальных шумов, критически снизивших объём выборки, например, для канала 165,0 ГГц (V). Часть измерений, синхронно для всех частотных каналов, не использовалась в анализе по причинам начала/конца выполнения манёвра носителя непосредственно в момент наблюдения Солнца.

Также следует отметить и ряд других факторов, приведших к частичной потере данных. Они были выявлены на этапе анализа измерений и связаны с особенностями функционирования прибора и организацией процедур предобработки информации и её хранения. Часть из них будет обсуждена ниже.

Поскольку информация о числе наблюдений имеет значение для понимания достоверности полученных результатов, соответствующие значения приведены ниже в *табл. 2*, отдельно по каждому частотному каналу.

Последовательность обработки данных

Детально процедура определения параметров антенной системы МТВЗА-ГЯ по результатам измерения интенсивности излучения вблизи оптического диска Солнца описана в работе (Садовский, Сазонов, 2025). Основные её этапы:

- географическая (в контексте решаемой задачи — пространственная) привязка исходных (*рис. 1*) измерений прибора (расчёт мгновенных векторов наблюдения \vec{k} в геоцентрической инерциальной системе координат) с учётом его оптической схемы сканирования и ориентации спутника-носителя (крен в 25° на правый борт) на момент наблюдений солнечного диска. Дополнительно, расчёт пары ортогональных векторов k_E и k_H , задающих поляризационную ориентацию антенной системы МТВЗА-ГЯ;

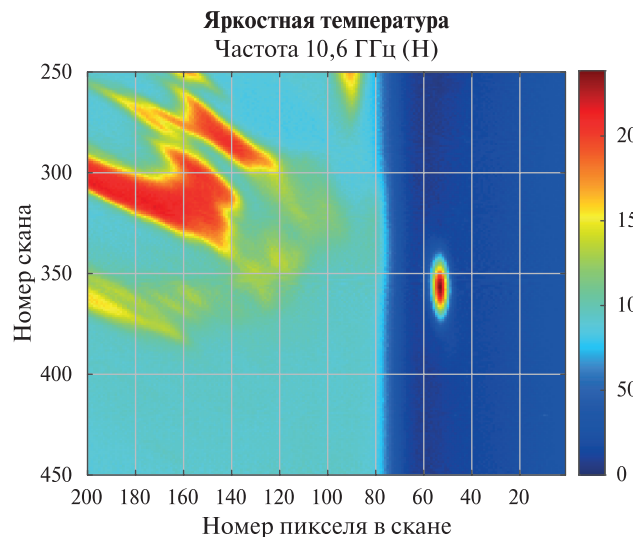


Рис. 1. Исходное (до выполнения операции географической привязки) распределение яркостной температуры на частоте 10,6 ГГц (H) в координатах «пиксель — скан»

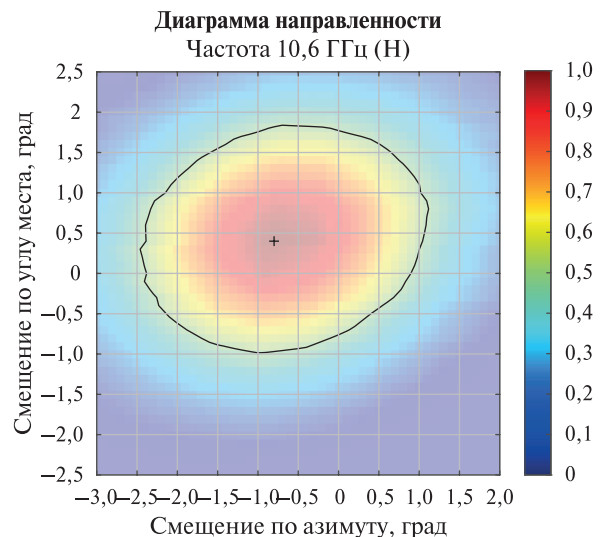


Рис. 2. Экспериментально измеренная объёмная диаграмма направленности МТВЗА-ГЯ на частоте 10,6 ГГц (H). Чёрная изолиния — уровень половинной мощности. Чёрный крестик — положение максимума излучения

- расчёт координат вектора Солнца \vec{S} для рассматриваемого полувитка (которые считаются постоянными в пределах интервала наблюдений околосолнечного пространства);

- для каждого элемента (пикселя) радиотеплового изображения перенос вектора \vec{S} в систему координат, образованную тройкой мгновенных векторов \vec{k} , \vec{k}_E и \vec{k}_H , с последующим расчётом пары углов (θ_S, φ_S) (в плоскости векторов \vec{k}_E (угол места) и \vec{k}_H (азимут) соответственно), определяющих положение \vec{S} в этой системе;
- построение карт распределения яркости $T_{br}(\theta_S, \varphi_S)$, их нормировка и интерполяция на регулярную угловую сетку с размерами ячейки $0,1 \times 0,1^\circ$.

Получаемые таким образом изображения максимально соответствуют понятию объёмной диаграммы направленности антенной системы и могут использоваться для анализа её характеристик (рис. 2, см. с. 117). В частности, оказывается возможным определить ширину диаграммы направленности по уровню половинной мощности в двух ортогональных плоскостях ($\Delta\theta_E^{\text{exp}}$ и $\Delta\theta_H^{\text{exp}}$) и ориентацию её максимума ($\theta_{\text{max}}, \varphi_{\text{max}}$).

Результаты определения параметров антенной системы

Описанная выше процедура обработки радиометрических изображений применялась ко всем имеющимся данным измерений МТВЗА-ГЯ (относящихся к околосолнечному пространству). Отдельно анализировались измерения на каждой частоте и поляризации. Пример результатов обработки 20 изображений на частоте 10,6 ГГц (Н) приведён на рис. 3.

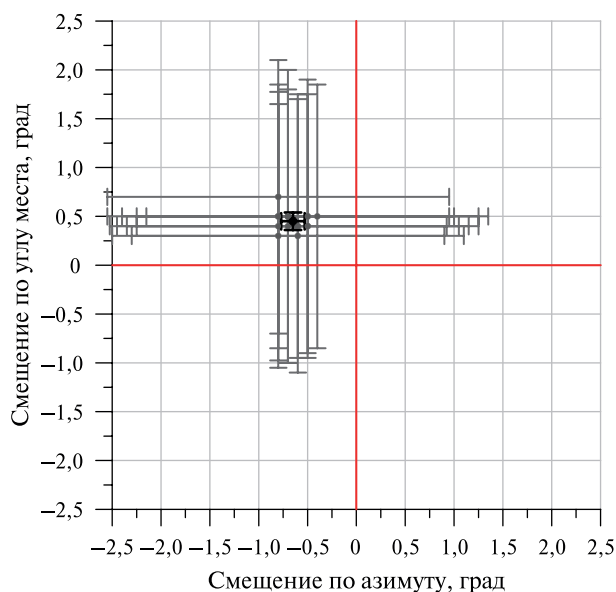


Рис. 3. Результаты экспериментального определения параметров антенной системы МТВЗА-ГЯ на частоте 10,6 ГГц (Н)

Серые точки соответствуют найденным направлениям максимумов излучения антенны ($\theta_{\text{max}}, \varphi_{\text{max}}$) для каждого эпизода. Для понимания диапазона вариаций получаемых координат серыми линиями обозначены величины $\Delta\theta_E^{\text{exp}}$ и $\Delta\theta_H^{\text{exp}}$. Чёрная точка — среднее положение максимума излучения на данном частотном канале, а её доверительный интервал соответствует величинам среднеквадратичного отклонения θ_{max} и φ_{max} по всей выборке.

Общее количество обработанных полей распределения яркости составило порядка 500 шт. Полученные результаты, с группировкой по частотным каналам, приведены в табл. 2. Следует отметить, что столбцы с четвёртого по седьмой содержат усреднённые в рамках одного частотного канала значения. При этом в силу малости разброса получаемых оценок $\Delta\theta_E^{\text{exp}}$ и $\Delta\theta_H^{\text{exp}}$ (менее 5 %) этот параметр у них опущен.

Последние два столбца таблицы $\overline{\varphi_{\max}}$ и $\overline{\theta_{\max}}$ представляют собой результат усреднения данных на частотных каналах, объединённых одним облучателем антенной системы МТВЗА-ГЯ (подробнее, см. работу (Садовский, Сазонов, 2025)). Пределы доверительных интервалов соответствуют стандартному отклонению соответствующих величин и рассчитываются с использованием понятий внутригрупповой и межгрупповой дисперсии.

Таблица 2. Результаты оценки параметров антенной системы МТВЗА-ГЯ (КА «Метеор-М» № 2-4)

Частота, ГГц	Поляризация	Число измерений	$\Delta\theta_E^{\text{exp}}$, град	$\Delta\theta_H^{\text{exp}}$, град	Φ_{max} , град	θ_{max} , град	$\overline{\Phi_{\text{max}}}$, град	$\overline{\theta_{\text{max}}}$, град
Облучатель № 1								
6,9	H	19	4,28	4,52	$-0,68\pm0,14$	$0,38\pm0,16$	$-0,73\pm0,18$	$0,50\pm0,23$
	V		4,13	4,46	$-0,84\pm0,23$	$0,31\pm0,13$		
7,3	H		4,07	4,51	$-0,68\pm0,14$	$0,29\pm0,14$		
	V		3,98	4,33	$-0,84\pm0,19$	$0,22\pm0,12$		
10,6	H	20	2,75	3,47	$-0,65\pm0,12$	$0,45\pm0,09$		
	V		2,93	3,40	$-0,72\pm0,15$	$0,42\pm0,10$		
18,7	H		1,97	2,60	$-0,68\pm0,14$	$0,75\pm0,05$		
	V		2,13	2,68	$-0,85\pm0,19$	$0,80\pm0,05$		
23,8	H		1,75	2,35	$-0,70\pm0,16$	$0,59\pm0,04$		
	V		2,08	2,37	$-0,63\pm0,13$	$0,78\pm0,06$		
Облучатель № 2								
31,5	H	20	1,48	2,25	$-1,57\pm0,17$	$0,31\pm0,07$	$-1,50\pm0,20$	$0,30\pm0,08$
	V		1,41	2,56	$-1,32\pm0,15$	$0,26\pm0,05$		
36,7	H		1,44	2,08	$-1,32\pm0,15$	$0,27\pm0,06$		
	V		1,27	2,48	$-1,33\pm0,15$	$0,20\pm0,05$		
42	H		1,37	1,98	$-1,62\pm0,15$	$0,37\pm0,06$		
	V		1,10	2,26	$-1,47\pm0,17$	$0,31\pm0,04$		
45	H	2	1,28	1,85	$-1,65\pm0,21$	$0,35\pm0,07$		
	V		0,93	1,95	$-1,65\pm0,21$	$0,30\pm0,14$		
48	H	20	1,20	1,79	$-1,61\pm0,15$	$0,34\pm0,07$		
	V		1,00	2,14	$-1,50\pm0,16$	$0,27\pm0,06$		
Облучатель № 3								
52	V	20	1,43	2,30	$-0,76\pm0,14$	$-0,47\pm0,09$	$-1,02\pm0,25$	$-0,54\pm0,11$
91,65	H	13	1,03	1,60	$-1,17\pm0,13$	$-0,56\pm0,15$		
	V		0,89	1,78	$-1,12\pm0,17$	$-0,58\pm0,04$		
Облучатель № 4								
165	V	1	1,55	2,4	$0,30\pm0,00$	$0,00\pm0,00$	$0,26\pm0,20$	$0,00\pm0,00$
183	V	7	1,63	2,5	$0,21\pm0,21$			

Для более детального анализа результатов определения ориентации частотных каналов МТВЗА-ГЯ они приведены на серии изображений *рис. 4* (см. с. 120).

Из представленных изображений видно:

- ориентации максимумов излучения частотных каналов, объединённых общим облучателем, достаточно хорошо сгруппированы;
- средние показатели ориентации каждой из групп имеют существенные угловые расхождения между собой (*рис. 5*, см. с. 121);

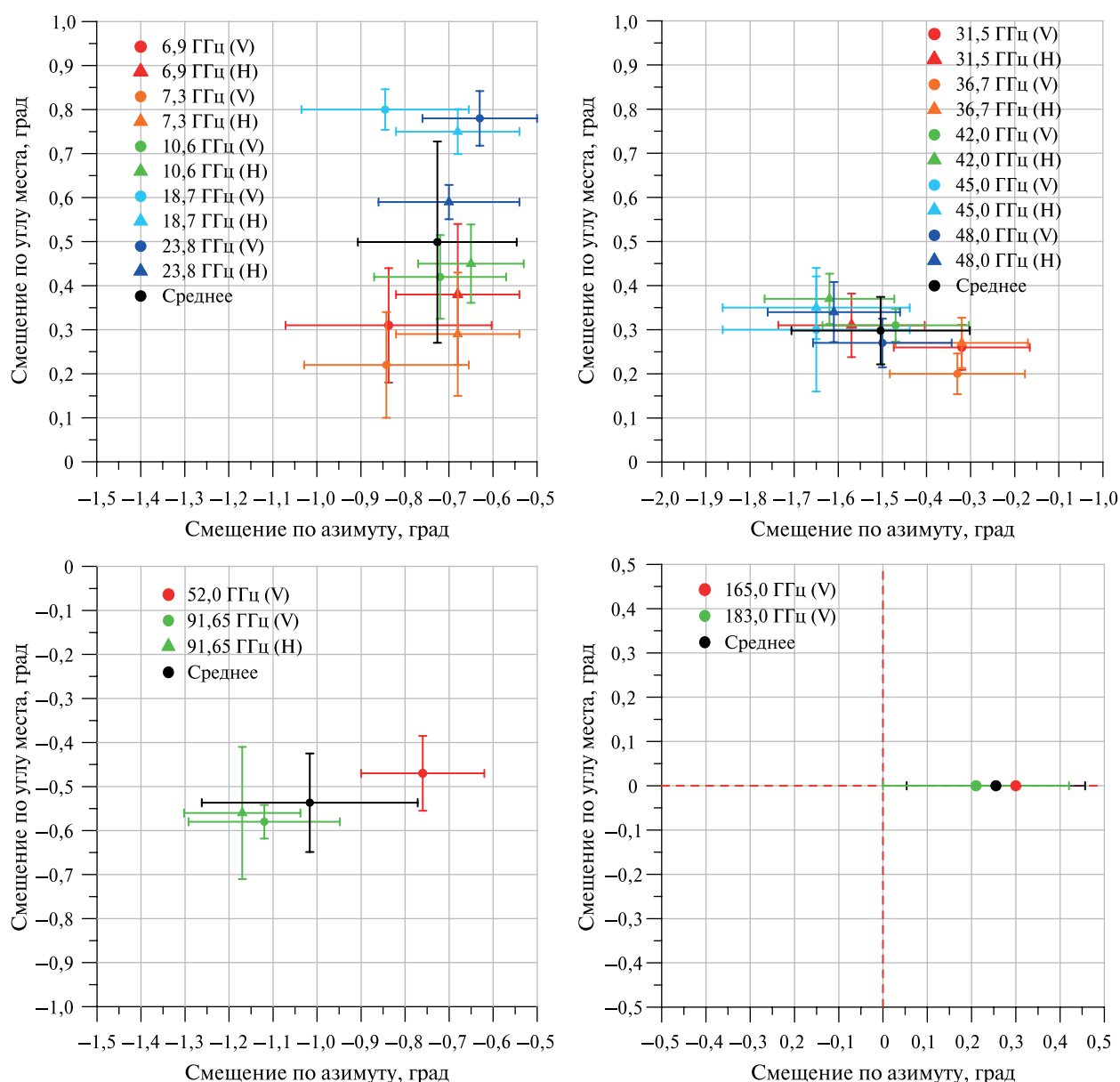


Рис. 4. Экспериментально определённые углы ориентации лучей визирования МТВЗА-ГЯ (КА «Метеор-М» № 2-4)

- всем частотным каналам свойственна большая неопределённость положения в азимутальной плоскости, чем в угломестной;
- внутри выделенной группы наибольший разброс в направлениях визирования наблюдается для частот 6,9–23,8 ГГц. Здесь разница в ориентации каналов 7,3 и 18,7 ГГц составляет около $0,6^\circ$ в угломестной плоскости;
- для групп 31,5–48,0 и 52,0–91,65 ГГц больше характерен азимутальный характер расхождения оптических осей визирования. Для первой группы оно составляет порядка $0,35^\circ$, для второй — чуть более $0,4^\circ$;
- для большинства частотных каналов свойственна поляризационная зависимость ориентации максимумов излучения;
- наименьшие расхождения с конструктивно заложенной ориентацией МТВЗА-ГЯ (общей для всех частотных каналов) демонстрируют частоты 165,0 и 183,0 ГГц. Для них отклонение в плоскости вектора H составляет $0,25^\circ$, в плоскости вектора E — отсутствует.

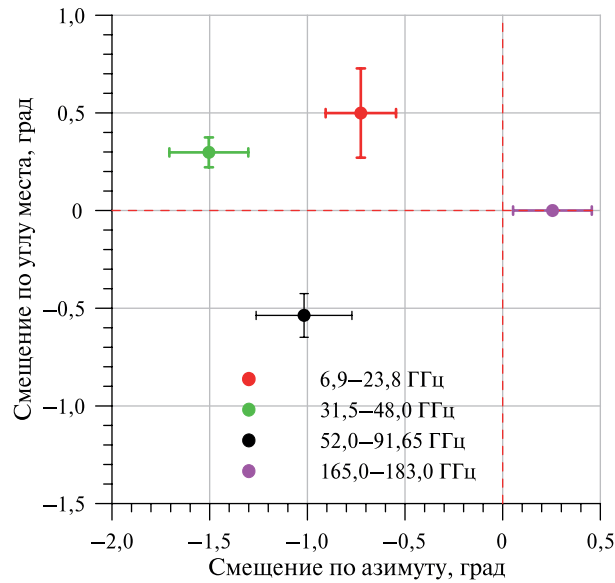


Рис. 5. Ориентация групп частотных каналов МТВЗА-ГЯ (КА «Метеор-М» № 2-4)

Особенности работы с экспериментальными данными

Часть вопросов, с которыми авторы столкнулись при проведении описываемого исследования, требует рассмотрения ввиду их возможного влияния на представленные оценки и сделанные заключения.

Первый из них — существенное угловое расстояние (в рамках рассматриваемой задачи) между соседними элементами одного скана ($0,52^\circ$). Соответственно, ошибка определения координат максимума излучения в плоскости вектора \mathbf{N} лежит в пределах от 0 до $0,26^\circ$. Помимо этого, для каждого рассматриваемого эпизода наблюдения Солнца минимальное угловое расстояние между вектором наблюдения и вектором Солнца оказывается разным, при этом максимум излучения имеет разные абсолютные значения. В данной ситуации операция нормировки может давать существенно различающиеся результаты при определении как формы изолиний половинной мощности, так и непосредственно значений $\Delta\theta_H^{\text{exp}}$ и $\Delta\theta_E^{\text{exp}}$. Результат интерполяции «разреженных» наблюдений на регулярную угловую сетку, используемый в методике, также может оказаться источником дополнительных ошибок, не поддающихся прогнозу. В частности, смещение положения максимума излучения и изменение его абсолютного значения зависят как от формы реальных (и неизвестных) диаграмм направленности прибора, так и от возможных случайных ошибок измерений.

Вторая проблема возникает во время формирования файлов формата .hdf (англ. hierarchical data format) на этапе предварительной обработки данных МТВЗА-ГЯ. Эта процедура выполняется разработчиками аппаратуры с помощью специально созданного программного комплекса. Ввиду того, что в файлах с результатами измерений прибора под хранение яркостной температуры выделено 4 байта (тип переменной *uint16* — 16-разрядное целое число без знака), максимальное значение, которое может быть в него записано, составляет 655,35 K (с учётом заложенной необходимости деления на 100 для перехода от целочисленного значения). Таким образом, превышение этого предела приводит к целочисленному переполнению через верхнюю границу представления и соответствующие элементы файлов содержат информацию не об истинных величинах яркости T_{br}^{exp} , а их значения за вычетом потерянного старшего 17-го разряда. Пример подобного изображения представлен в левой части рис. 6. При обнаружении данных ситуаций авторами работы выполнялась реконструкция исходных данных путём их маркировки с последующим увеличением соответствующих значений T_{br}^{exp} на величину 655,36 K, как показано в правой части рис. 6 (см. с. 122).

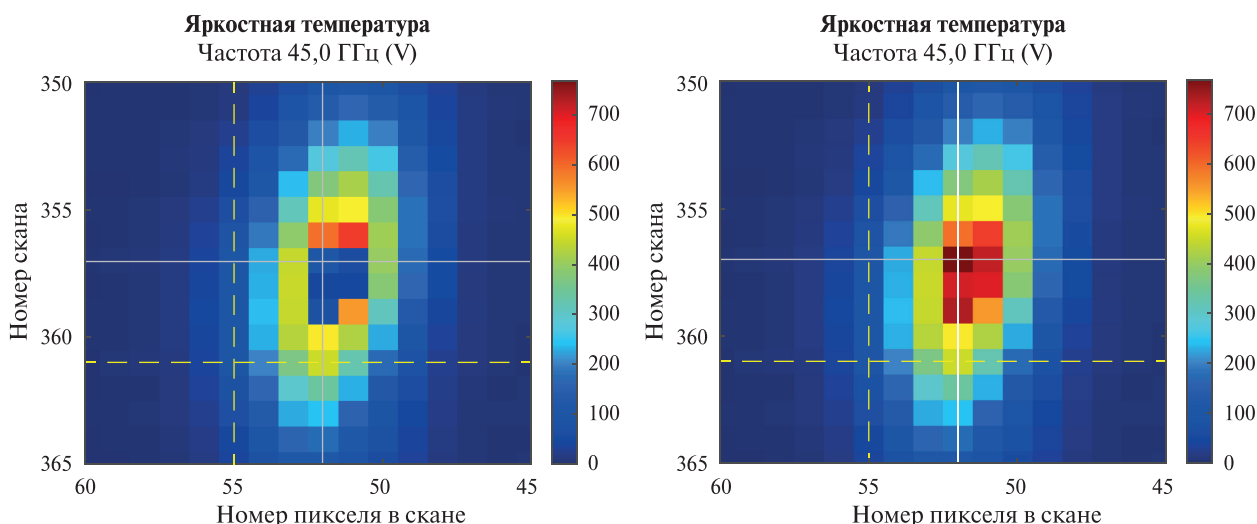


Рис. 6. Пример проявления эффекта целочисленного переполнения представления (слева) и результат восстановления истинной яркости в этих пикселях (справа)

Очевидно, что в случае двойного переполнения (заполнение 18-го разряда) восстановление исходного распределения яркости оказывается невозможным. Авторы предполагают, что подобная ситуация могла иметь место при обработке данных самых высокочастотных каналов МТВЗА-ГЯ. При этом и к реализованной процедуре восстановления яркости имеются вопросы, поскольку в некоторых случаях она приводила к возникновению двух разнесённых и практически равных по амплитуде максимумов. Объяснение данного эффекта у авторов отсутствует.

Также авторы высказывают предположение о возможном влиянии на результаты работы нелинейности характеристик приёмников. Результаты подобных испытаний для МТВЗА-ГЯ в литературе отсутствуют. При этом очевидно, что значения яркости Солнца для части частотных каналов выходят далеко за пределы температуры объектов, находящихся на поверхности Земли. Если сделанное предположение верно, то это должно было оказать влияние как на результаты восстановления самой формы изолиний половинной мощности, так и на характеризующие их значения $\Delta\theta_H^{\text{exp}}$ и $\Delta\theta_E^{\text{exp}}$.

Заключение

Периодические манёвры космического аппарата «Метеор-М» № 2-4, частью полезной нагрузки которого является сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ, дают возможность проведения измерений интенсивности излучения Солнца и его окрестностей. В свою очередь, это предоставляет уникальную возможность исследования реальных параметров антенной системы данного инструмента с точностью, недостижимой ни в наземных условиях, ни в рамках штатной работы на орбите.

Основным результатом работы следует считать статистически обеспеченную информацию о взаимном расположении оптических лучей визирования рассматриваемой версии МТВЗА-ГЯ. Представленные данные являются убедительным доказательством предположения, сделанного в работе (Садовский, Сазонов, 2023) и получившего первое подтверждение в публикации (Садовский, Сазонов, 2025), о разнонаправленности лучей визирования МТВЗА-ГЯ. В свою очередь, это требует пересмотра существующего подхода к операции географической привязки (Садовский и др., 2025). Помимо выбора в качестве основных параметров геопривязки угла раскрытия конуса сканирования прибора и азимутального смещения по его поверхности требуется частотно дифференцированный подход при её реализации. Как минимум — в пределах групп частот, объединённых одним из четырёх облучателей антенной

системы. Вопрос о целесообразности выполнения геопривязки для каждого из частотных каналов МТВЗА-ГЯ в отдельности будет рассмотрен авторами в ближайшее время.

Также следует отметить, что впервые удалось уверенно определить ориентацию чисто атмосферных каналов прибора, работающих в окрестностях частот 45, 52, 165 и 183 ГГц.

Итоги многократных оценок параметров $\Delta\theta_H^{\text{exp}}$ и $\Delta\theta_E^{\text{exp}}$ также подтверждают выводы, сделанные в работе (Садовский, Сазонов, 2025). Для большинства частотных каналов они превышают значения, указываемые в технической документации МТВЗА-ГЯ. Несмотря на корректность всех выполненных операций, авторы обращают внимание на то, что результат получен в условиях ограничений, описанных в разделе «Особенности работы с экспериментальными данными», и может быть пересмотрен в случае поступления дополнительной информации о технических характеристиках прибора.

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

Авторы выражают благодарность: А. М. Стрельцову (АО «Российские космические системы») за своевременное и оперативное предоставление предобработанных данных измерений МТВЗА-ГЯ, использованных в работе; В. В. Яковлеву и И. А. Барсукову (АО «Российские космические системы») за предоставление технической информации по прибору МТВЗА-ГЯ; В. Б. Хайкину (Специальная астрофизическая обсерватория РАН) за полезные обсуждения; И. Ю. Лапшову (ИКИ РАН) за помощь в расчётах координат Солнца и Н. Ю. Комаровой (ИКИ РАН) за помощь в оформлении материалов.

Литература

1. Барсуков И. А., Митник Л. М., Болдырев В. В. и др. Метеорологический спутник «Метеор-М» № 2-3: предварительные результаты микроволнового зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 1. С. 315–326. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-1-315-326.
2. Садовский И. Н., Сазонов Д. С. Корректировка географической привязки данных МТВЗА-ГЯ // Исслед. Земли из космоса. 2023. № 6. С. 73–85. DOI: 10.31857/S0205961423060076.
3. Садовский И. Н., Сазонов Д. С. Первые оценки разрешающей способности МТВЗА-ГЯ на основе наблюдений солнечного диска // Материалы 22-й Международ. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2024. С. 65. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
4. Садовский И. Н., Сазонов Д. С. Оценка характеристик антенной системы МТВЗА-ГЯ, функционирующего на борту КА «Метеор-М» № 2-4 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 6. С. 100–114. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-6-100-114.
5. Садовский И. Н., Сазонов Д. С., Клитная А. В. Новый подход к реализации процедуры географической привязки измерений МТВЗА-ГЯ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 5. С. 87–95. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-87-95.

Refinement of microwave scanner/sounder MTVZA-GYa antenna system parameters

I. N. Sadovsky¹, A. V. Klitnaya^{1,2}

¹ Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

E-mail: Ilya_Nik_Sad@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

The work is devoted to the study of antenna system characteristics of the Russian microwave scanner/sounder named MTVZA-GYa (Microwave Atmospheric Temperature and Humidity Sounding Module, GYa — in memory of G.Ya. Gus'kov (1918–2002)) currently operating on board the Meteor-M No. 2-4 spacecraft. Periodic maneuvers of the carrier satellite with changes in the bank angle to the starboard side (about 25°) provide conditions for observing the solar disk and its surroundings. The Sun is a source of stable radiation, having small constant angular dimensions and high contrast against the background of relic radiation. This provides a unique opportunity to study the parameters of the device's antenna system under conditions that are unattainable either during ground tests or during the normal device operation in orbit. The paper presents the results of an analysis of measurements of solar radiothermal radiation carried out by the instrument in the period of May 15 to 28, 2024. During this time, the solar disk entered the instrument's field of view 22 times. The total number of processed radiothermal images was over 500. As part of the conducted research, assessments of the orientation of MTVZA-GYa optical sighting beams were carried out for all frequency channels of the instrument, also taking into account their orientation of the polarization plane. In addition to determining the coordinates of the maxima of the instrument directional patterns, an assessment of their width was made at the half-power level in two orthogonal planes. One of the main results of the work should be considered the construction of a complete picture of the relative orientation of individual frequency channels of the considered version of MTVZA-GYa. The resulting volumetric directional diagram of its antenna system will be the basis for improving the algorithms for georeferencing its measurements, as well as for determining the degree of influence of the antenna system characteristics on the solution quality of inverse remote sensing problems solved on their basis.

Keywords: remote sensing, microwave radiometry, microwave scanner/sounder MTVZA-GYa, spacecraft Meteor-M No. 2-4, orientation of optical sighting beams, georeferencing of remote sensing data, solar observations

Accepted: 20.11.2025

DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-6-115-124

References

1. Barsukov I. A., Mitnik L. M., Boldyrev V. V. et al., Meteorological satellite Meteor-M No. 2-3: Preliminary results of microwave sensing of the Earth, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 25, No. 1, pp. 315–326 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-1-315-326.
2. Sadovsky I. N., Sazonov D. S., Correction procedure for MTVZA-GYa georeference, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2023, No. 6, pp. 73–85 (in Russian), DOI: 10.31857/S0205961423060076.
3. Sadovsky I. N., Sazonov D. S., First estimates of the resolution of MTVZA-GYa based on observations of the solar disk, *Materialy 22-i Mezhdunarodnoi konferentsii "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (Proc. 22nd Intern. Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Moscow: IKI RAS, 2024, p. 65 (in Russian), DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
4. Sadovsky I. N., Sazonov D. S., Determination of the MTVZA-GYa antenna system parameters, operating on board Meteor-M No. 2-4, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 22, No. 6, pp. 100–114 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-6-100-114.
5. Sadovsky I. N., Sazonov D. S., Klitnaya A. V., New approach to implementation of georeferencing procedure for MTVZA-GYa measurements, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2025, V. 25, No. 5, pp. 87–95 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-87-95.