

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

Факультет космических исследований

Магистерская программа «Методы и технологии дистанционного зондирования Земли»



Выпускная квалификационная работа

магистра на тему:

НОВЫЙ ВАРИАНТ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОВ СЕРИИ МТВЗА-ГЯ

Студент(ка) группы м203: Клитная Анастасия Викторовна

Научный руководитель: к.ф.-м. н., доцент, Садовский Илья Николаевич

Москва - 2026

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

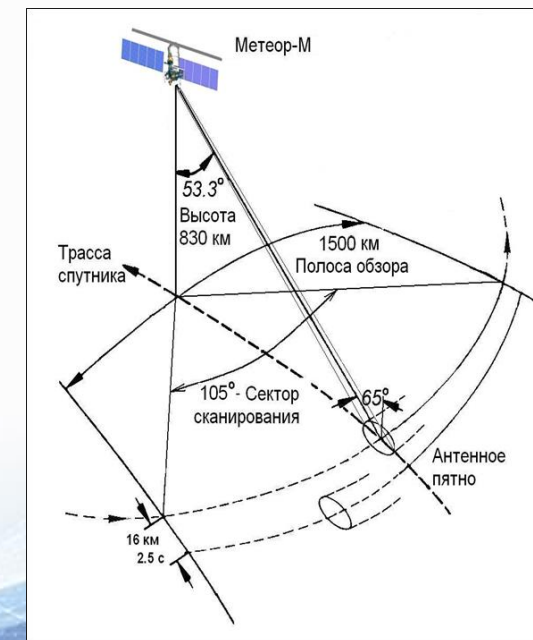
Разработка и обоснование нового алгоритма географической привязки измерений МТВЗА-ГЯ на основе экспериментального определения ориентации оптических лучей визирования по данным наблюдений солнечного диска.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

- Проанализировать существующий алгоритм географической привязки и выявить его ограничения.
- Исследовать особенности антенной системы МТВЗА-ГЯ, приводящие к разнонаправленности лучей визирования.
- Разработать методику обработки наблюдений солнечного диска для определения реальной ориентации лучей.
- Получить оценки угловых смещений между каналами и проверить их статистическую устойчивость.
- Сопоставить результаты, полученные по наблюдениям Солнца, с анализом радиометрических изображений.
- Разработать и реализовать новый алгоритм географической привязки.
- Оценить его эффективность и влияние на точность геопривязки.

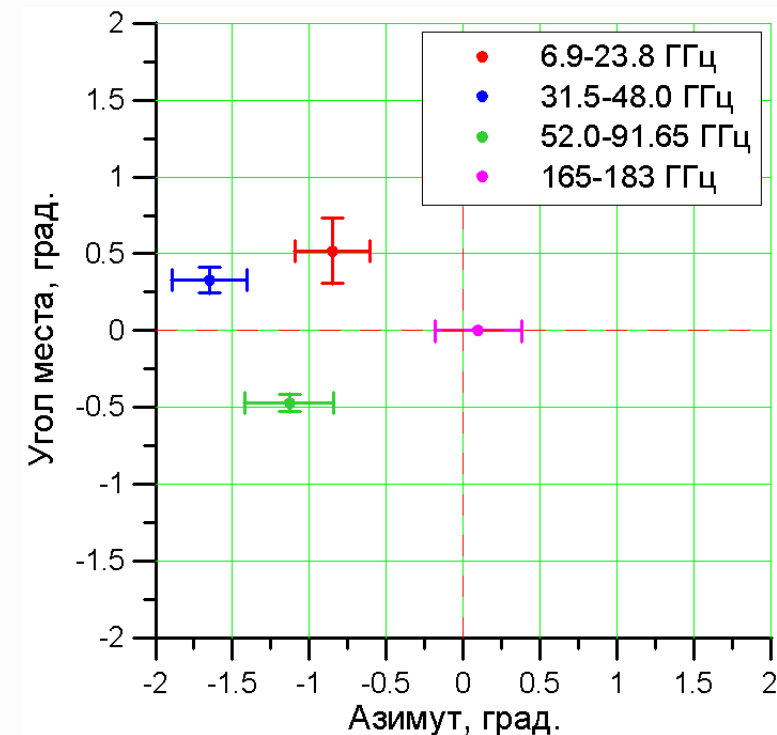
АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

- МТВЗА-ГЯ (Модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы), - многочастотный радиометр с коническим типом сканирования.
- Измерения выполняются на 40 каналах в диапазоне частот от 6,9 до 190 ГГц.
- Антенная система МТВЗА-ГЯ представляет собой однозеркальную антенну с боковым облучением параболического зеркала размером 0,67 м.
- Групповой многочастотный антенный облучатель включает четыре рупора, которые оптимизированы в диапазонах 6,9–23,8, 31,5–48, 52–91 и 165–183 ГГц. Оптические оси антенных лучей каналов ориентированы так, чтобы они являлись образующими конуса сканирования с углом при вершине $53,3^\circ$. Расхождение антенных лучей, обусловленное применением группового облучателя, лежит в пределах углов $\pm 6,5^\circ$.

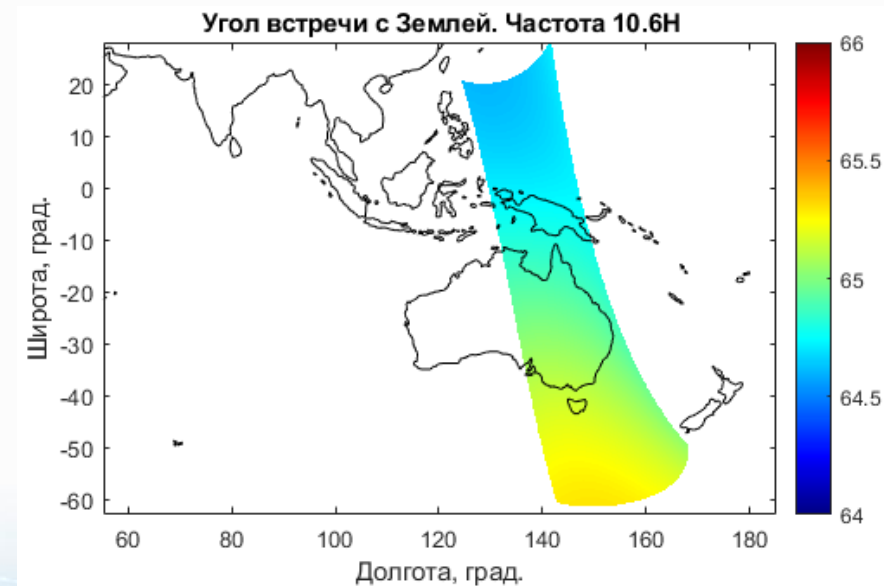
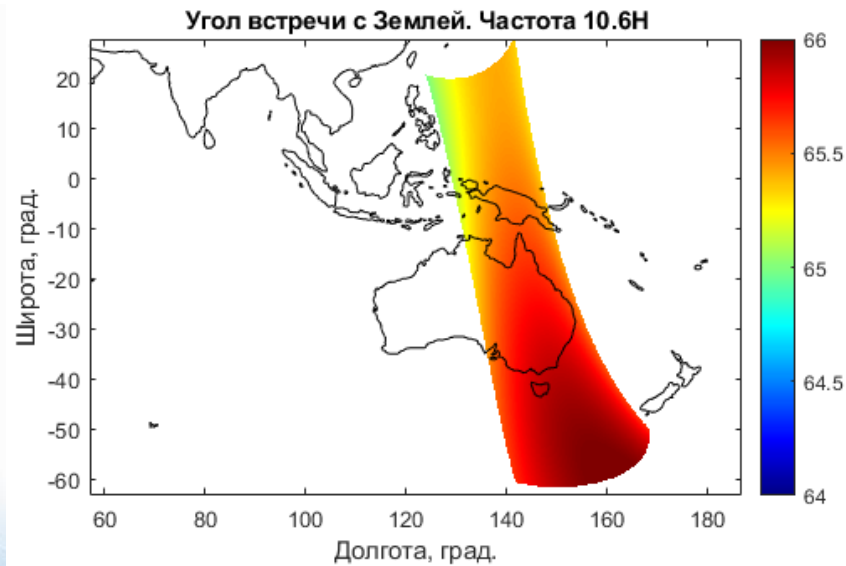
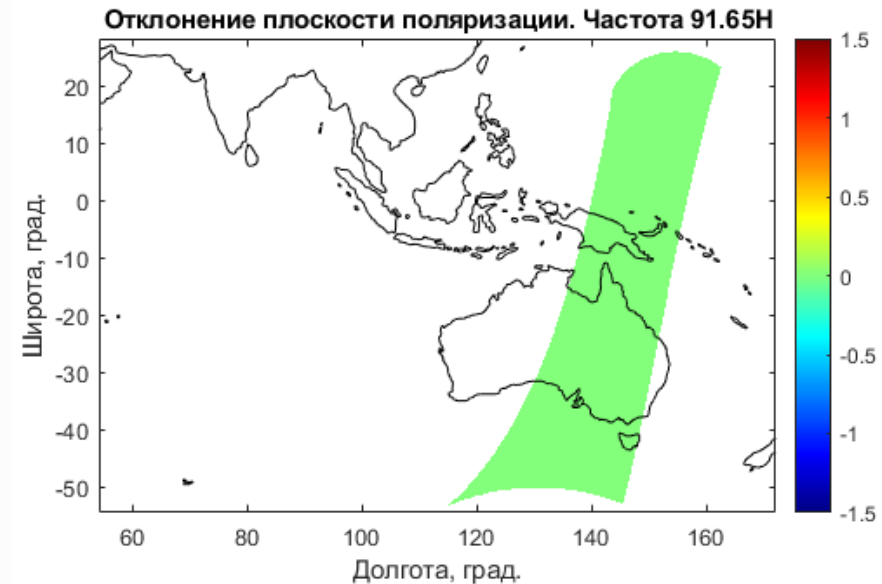
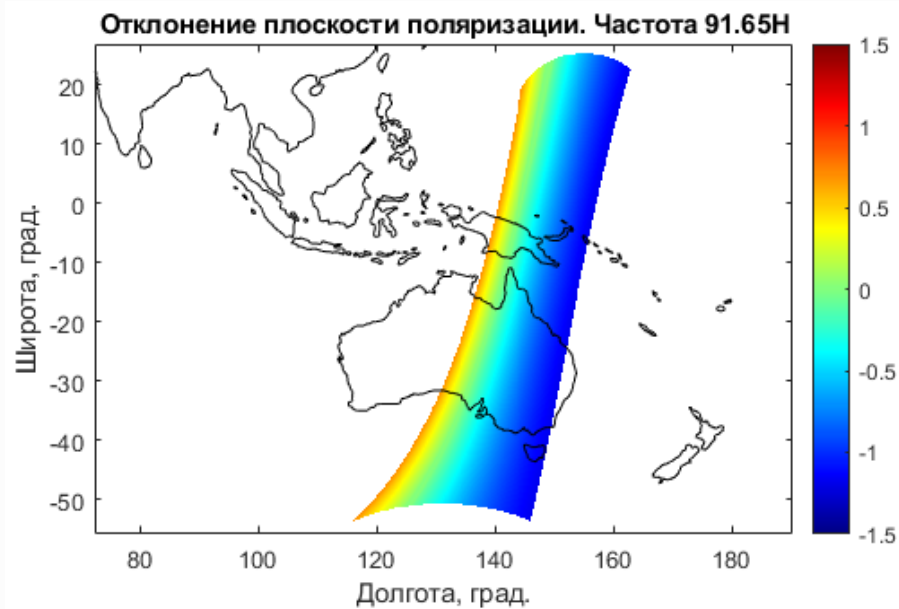


ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАРОГО АЛГОРИТМА

- Ввиду разнонаправленности лучей визирования различных частотных каналов МТВЗА-ГЯ, требуется использование своих (различных) корректировочных углов крена, тангажа и рысканья для каждой группы частотных каналов. Это означает, что в рамках существующего алгоритма, ось вращения сканера имеет разную ориентацию (для этих групп), что физически невозможно.
- В свою очередь, это приводит к тому, что несмотря на высокую точность географической привязки, расчетные значения вспомогательных переменных оцениваются некорректно (углы встречи с Землей и т.п.)
- Помимо этого, ожидаемым является рост ошибок при наличии маневров спутника-носителя, т.е. при отклонении ориентации аппарата от штатного положения.

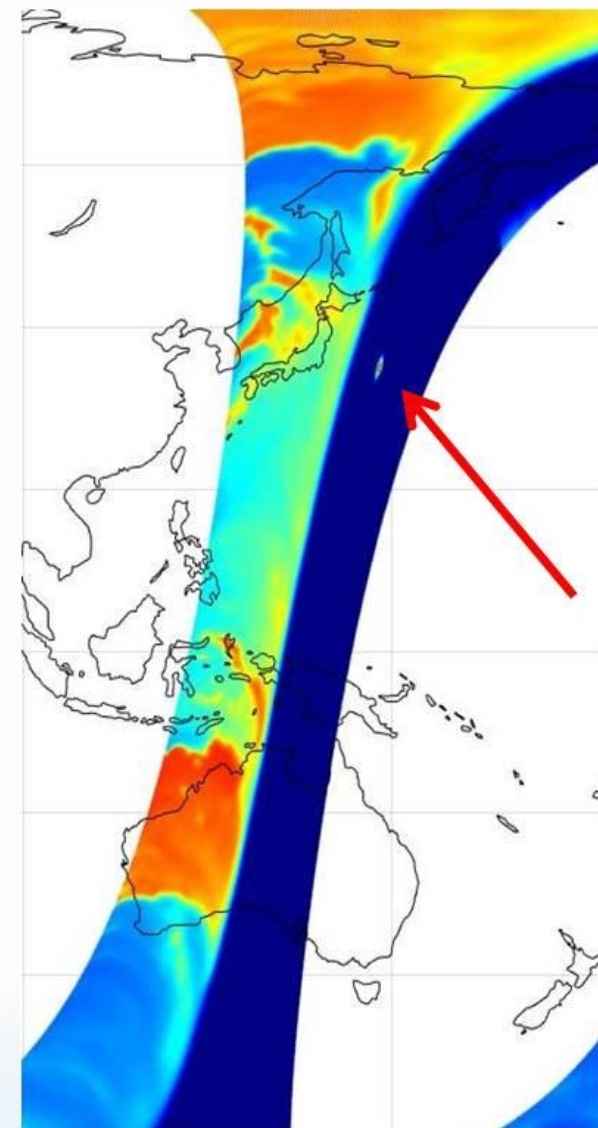


ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАРОГО АЛГОРИТМА



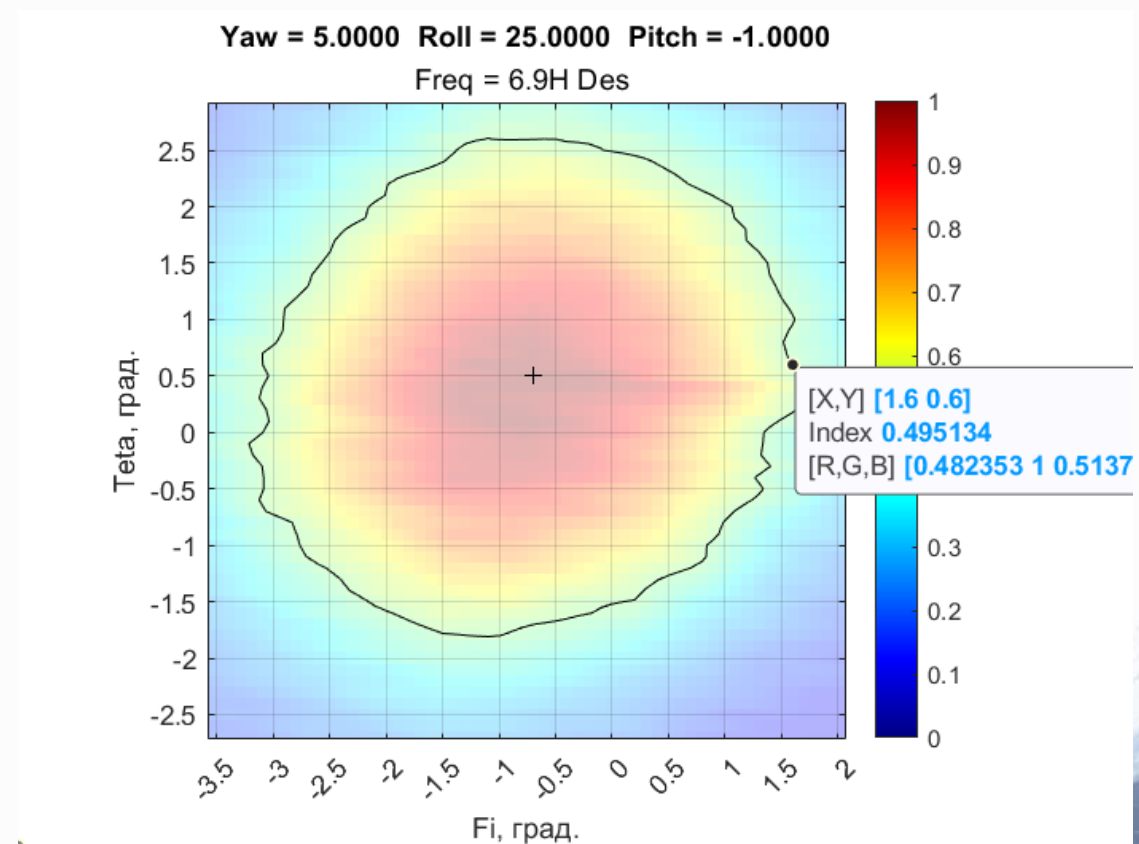
УНИКАЛЬНЫЕ МАНЕВРЫ КА МЕТЕОР-М № 2-4

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
17.05.2024	09:28	24.05.2024	03:34
17.05.2024	19:36	24.05.2024	15:23
18.05.2024	09:07	24.05.2024	18:45
19.05.2024	08:45	27.05.2024	15:59
19.05.2024	09:36	27.05.2024	21:03
20.05.2024	20:12	28.05.2024	17:19
21.05.2024	16:28	28.05.2024	20:41
21.05.2024	18:09	28.05.2024	22:23

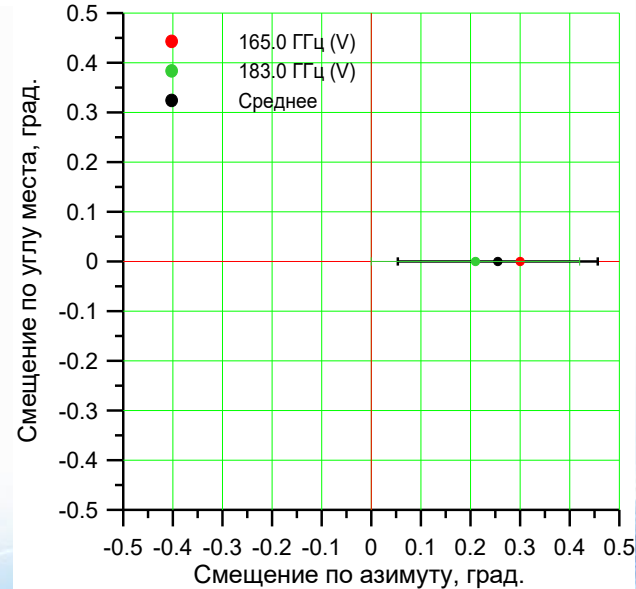
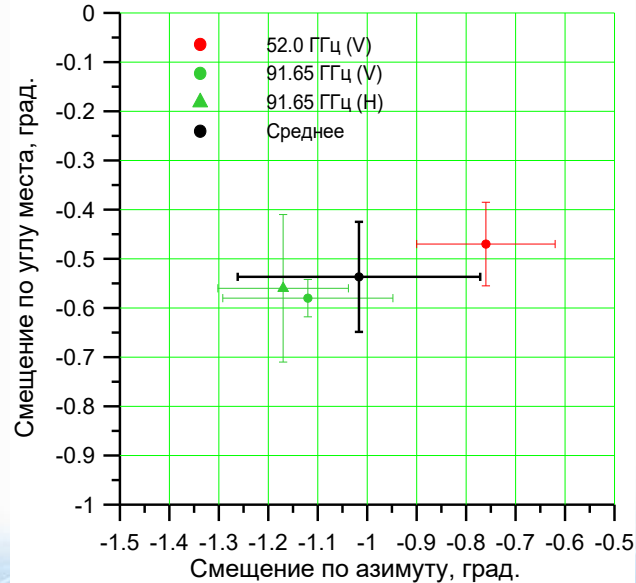
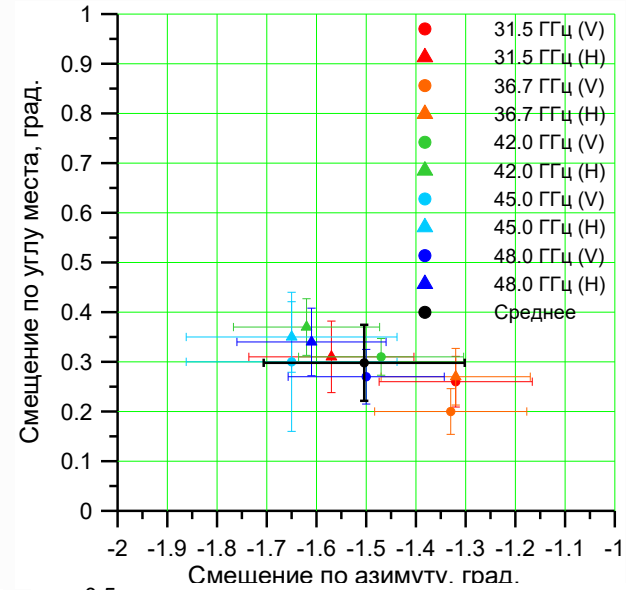
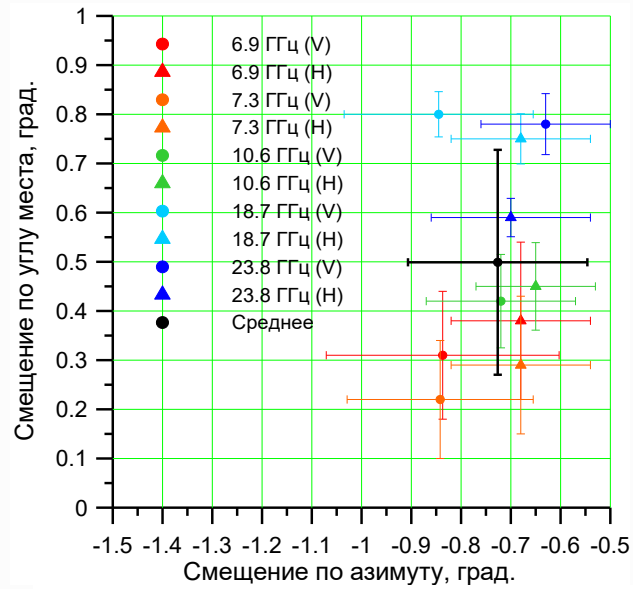


РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ МТВЗА-ГЯ

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

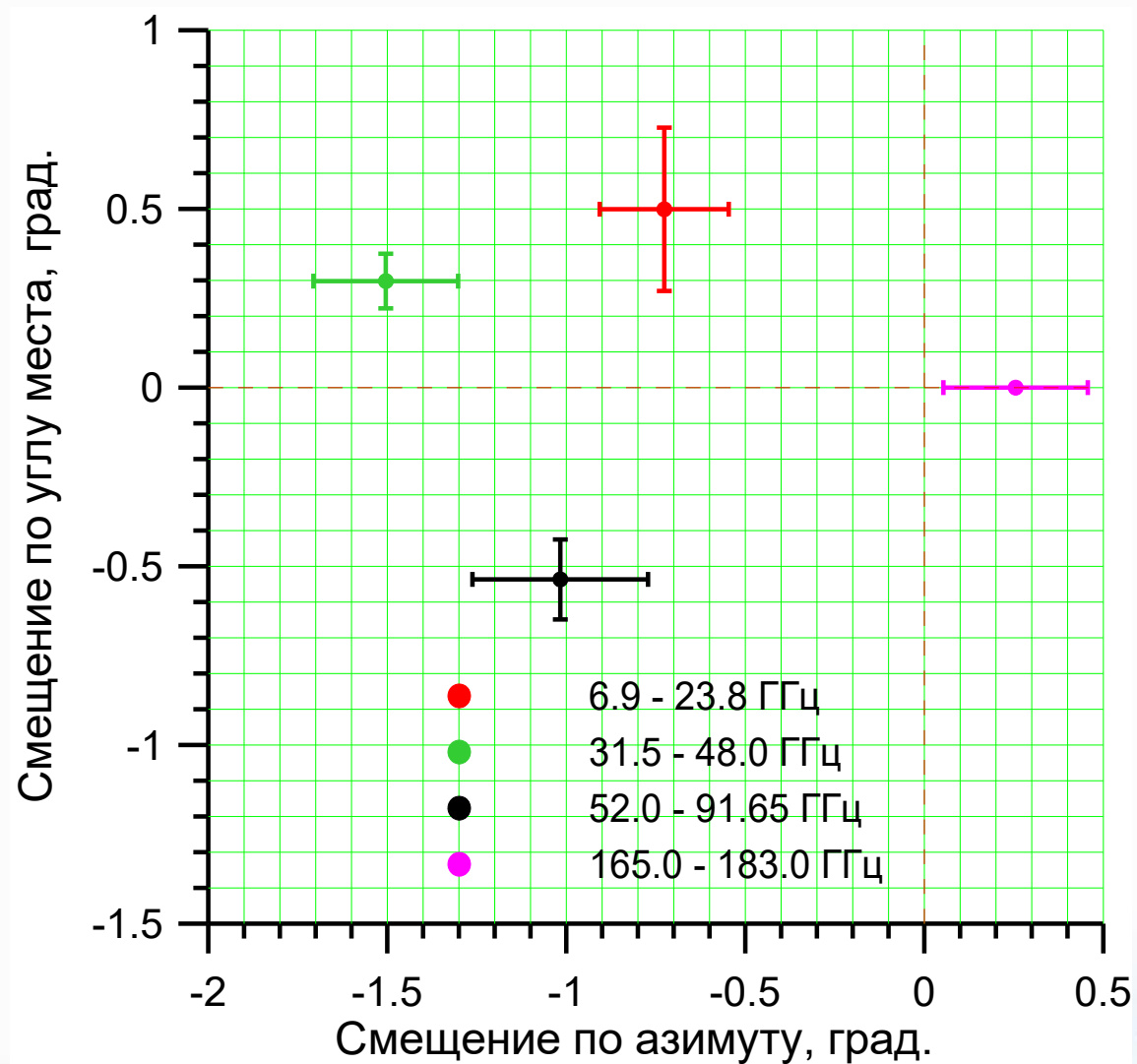


ВЗАИМНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВИЗИРОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ МТВЗА-ГЯ



ВКР (м) студентки Клитной Анастасии Викторовны

ОБОБЩЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ ГРУПП ЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ МТВЗА-ГЯ



ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДИФИКАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО АЛГОРИТМА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ

Мгновенный вектор наблюдения

$$k_n = \begin{bmatrix} \sin(\theta_0 + \Delta\theta_n) \cos(\varphi_0 + \Delta\varphi_n + \varphi) \\ \sin(\theta_0 + \Delta\theta_n) \cos(\varphi_0 + \Delta\varphi_n + \varphi) \\ -\cos(\theta_0 + \Delta\theta_n) \end{bmatrix}$$

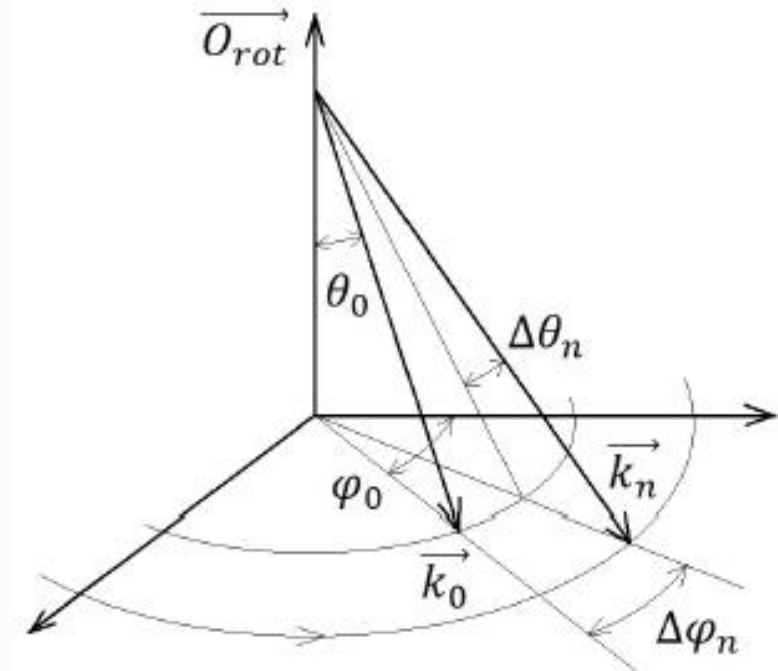
Конструкторская документация/испытания

$$\beta_K \neq 0, \beta_T \neq 0, \beta_P \neq 0$$

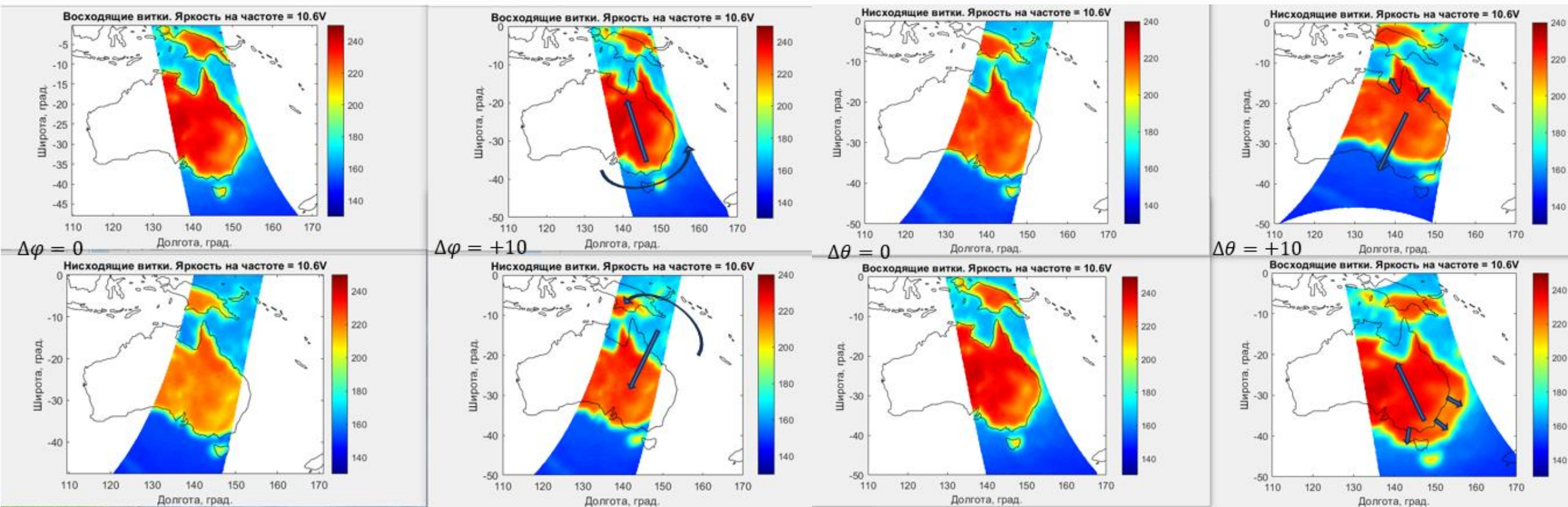
Звездные датчики

$$\gamma_K \neq 0, \gamma_T \neq 0, \gamma_P \neq 0$$

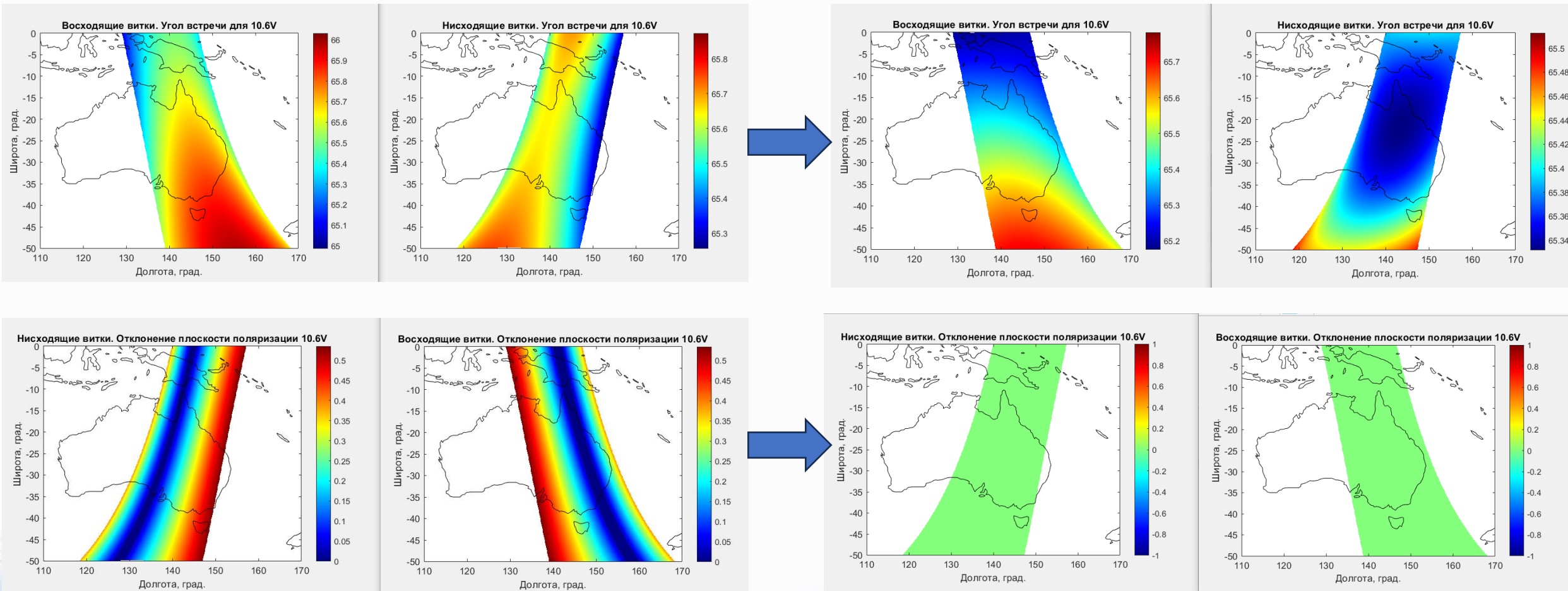
$$M_{СК \leftarrow СК КА} = \begin{bmatrix} \cos\beta_T \cos\beta_P - \sin\beta_P \sin\beta_K \sin\beta_T & -\sin\beta_P \cos\beta_T - \sin\beta_P \sin\beta_K \sin\beta_T & \sin\beta_T \cos\beta_K \\ \cos\beta_K \sin\beta_P & \cos\beta_K \cos\beta_P & \sin\beta_K \\ -\sin\beta_T \cos\beta_P - \cos\beta_T \sin\beta_K \sin\beta_P & \sin\beta_P \sin\beta_T - \cos\beta_P \sin\beta_K \cos\beta_T & \cos\beta_K \cos\beta_T \end{bmatrix}$$



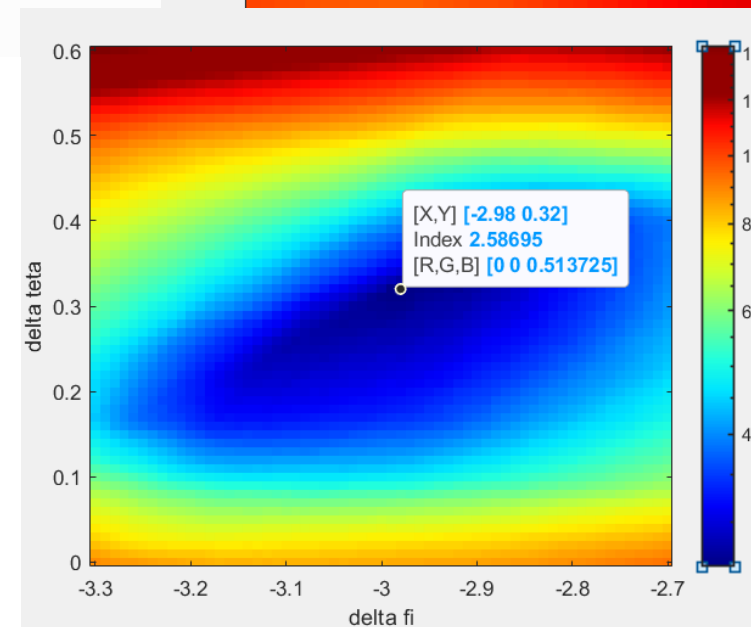
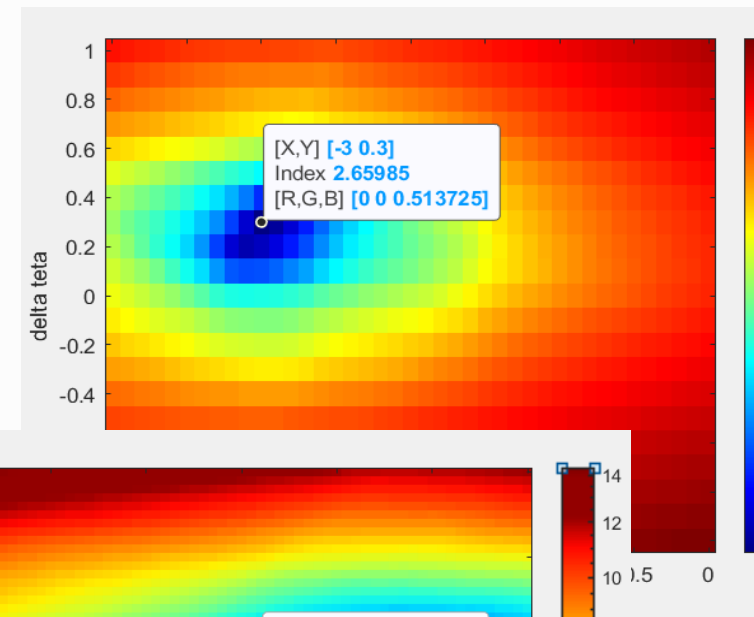
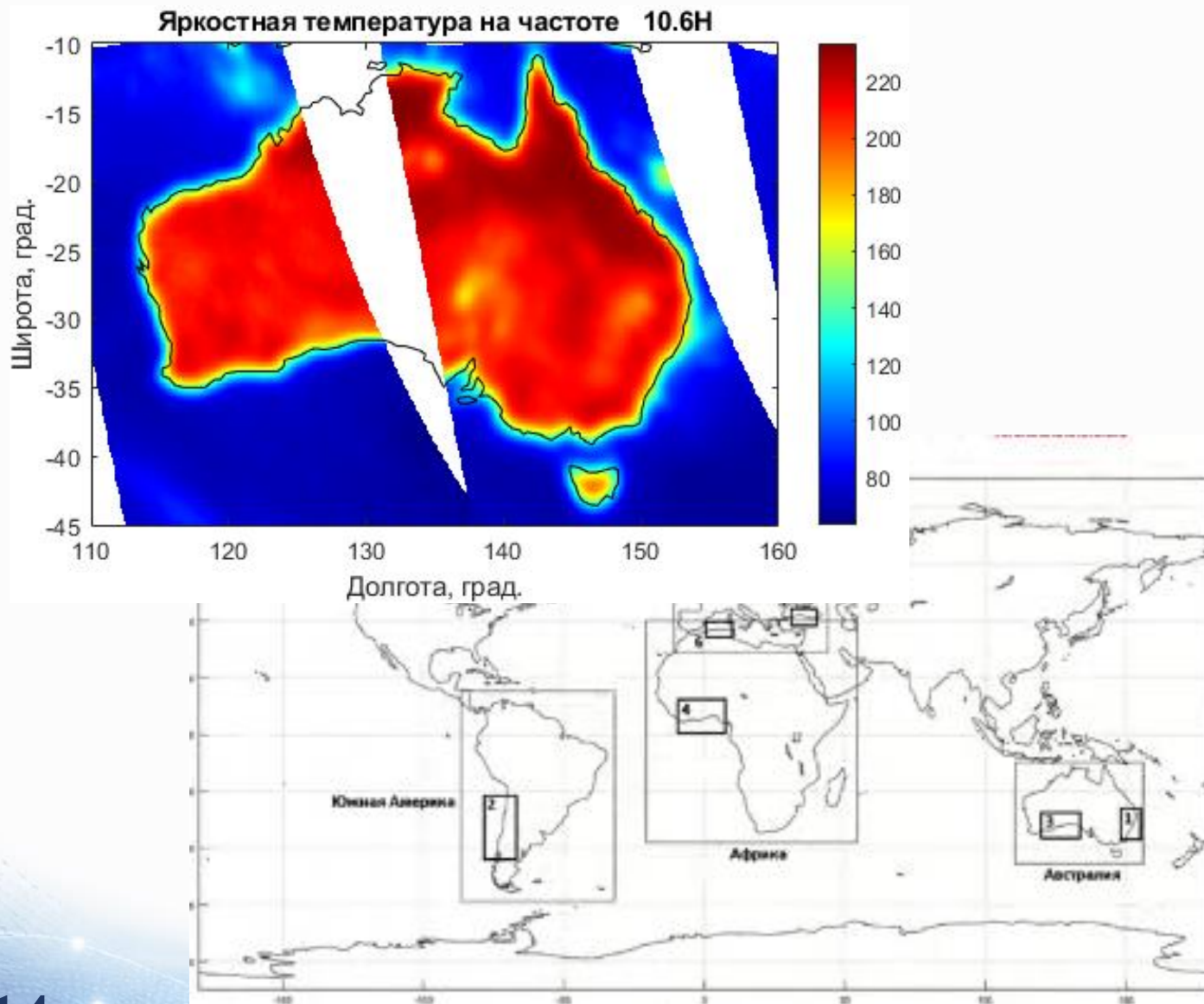
ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ РАБОТЫ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА



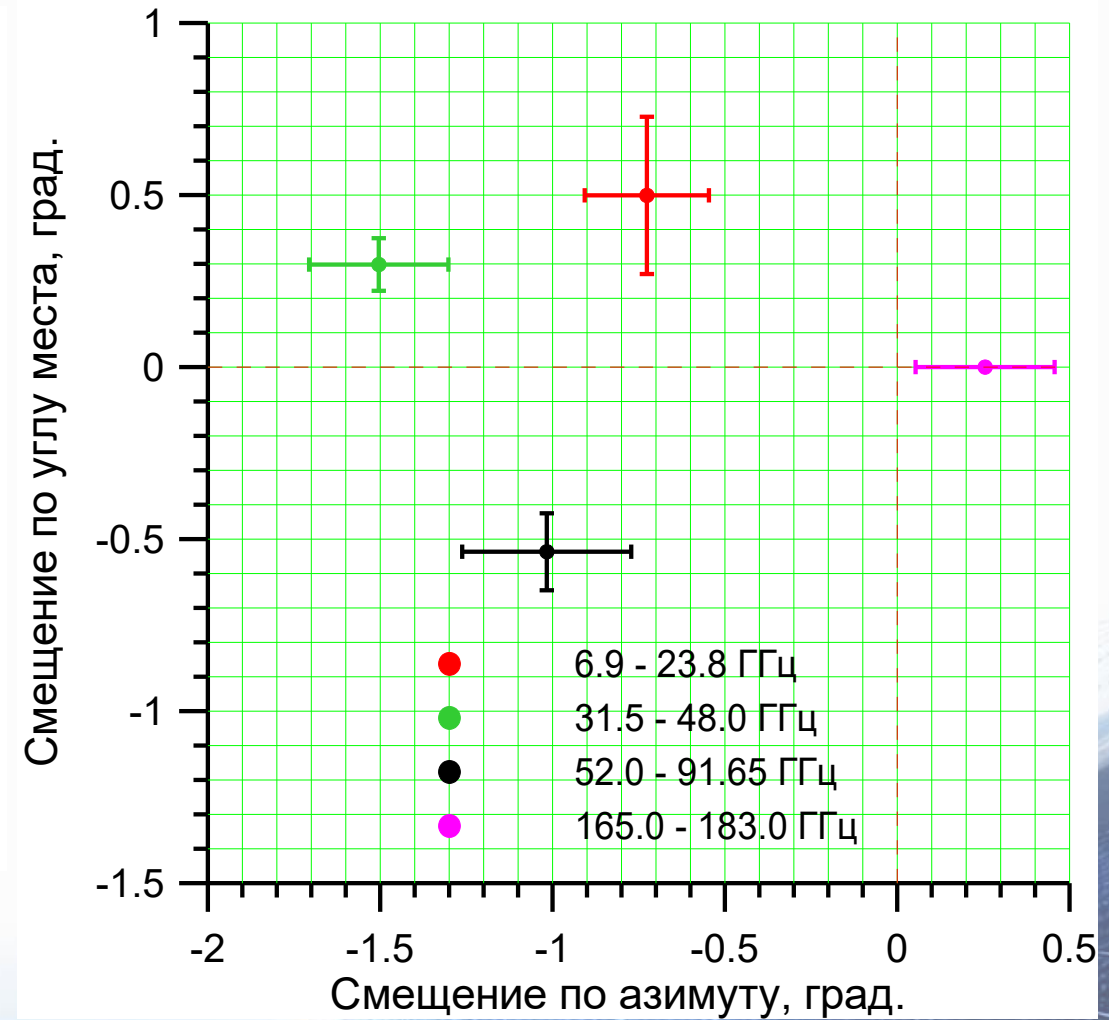
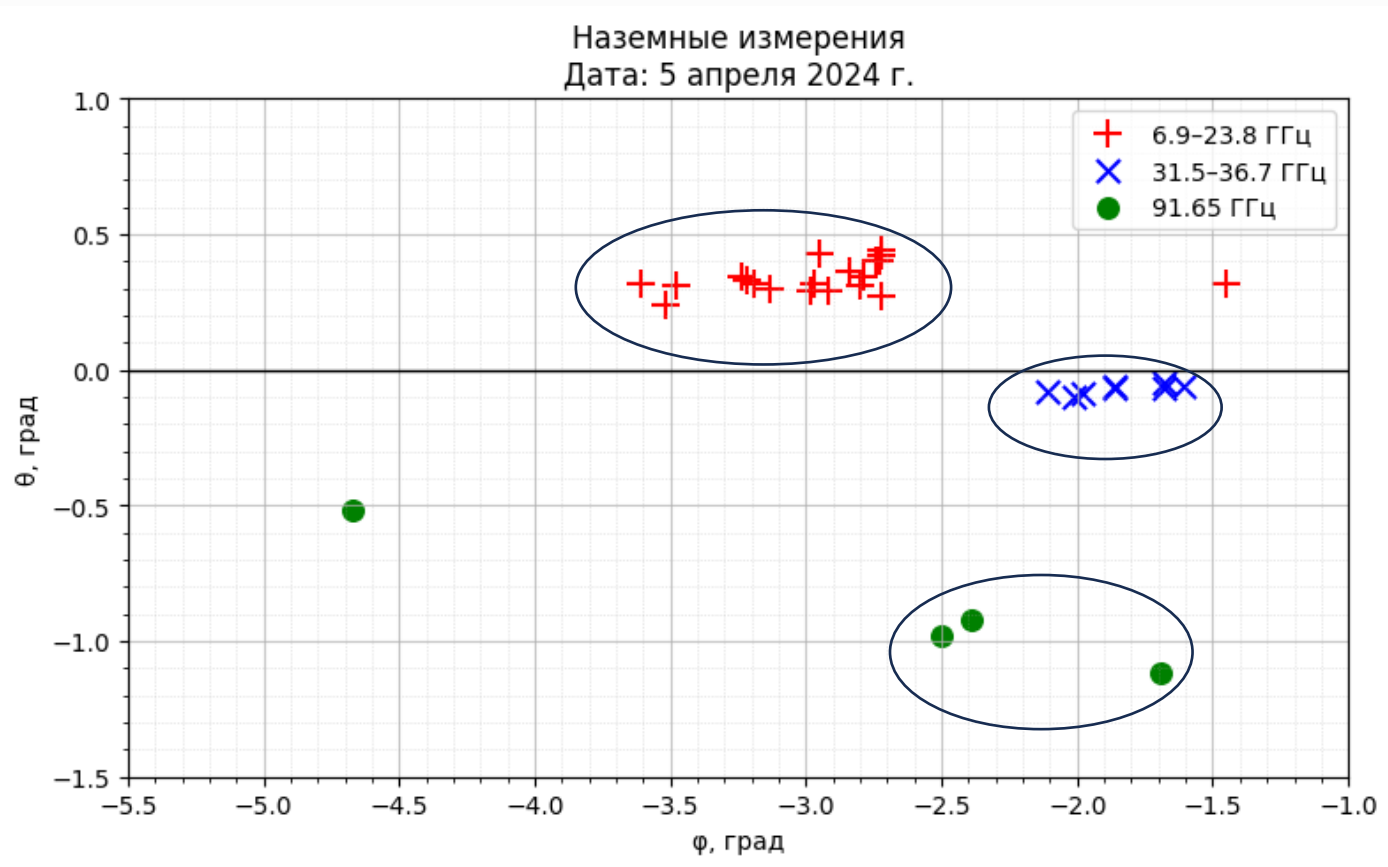
СРАВНЕНИЕ РАБОТЫ ДВУХ АЛГОРИТМОВ



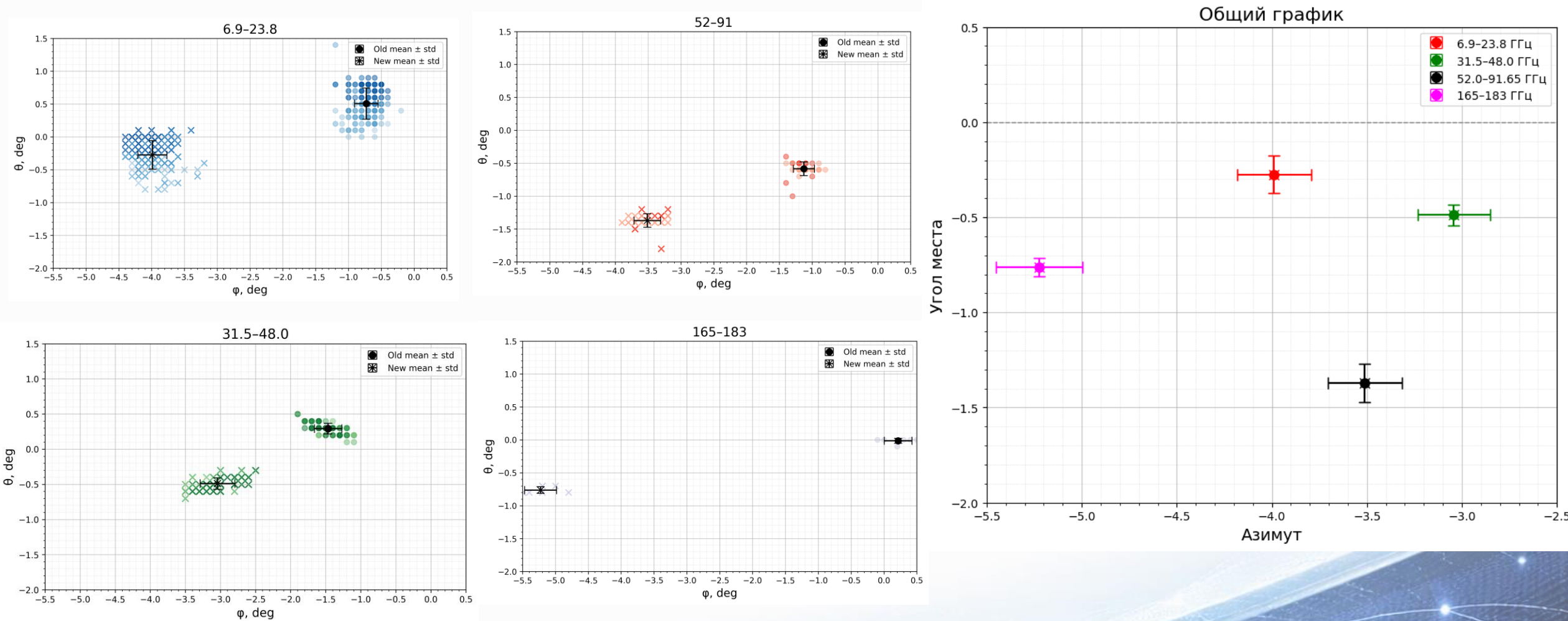
ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УГЛОВ ДЛЯ НОВОГО АЛГОРИТМА ГЕОПРИВЯЗКИ



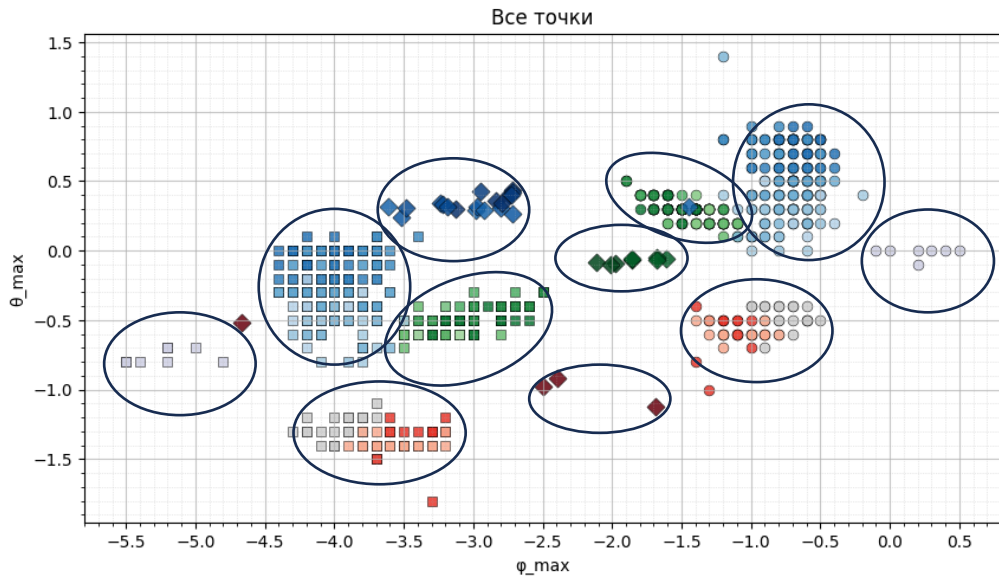
ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УГЛОВ ДЛЯ НОВОГО АЛГОРИТМА ГЕОПРИВЯЗКИ



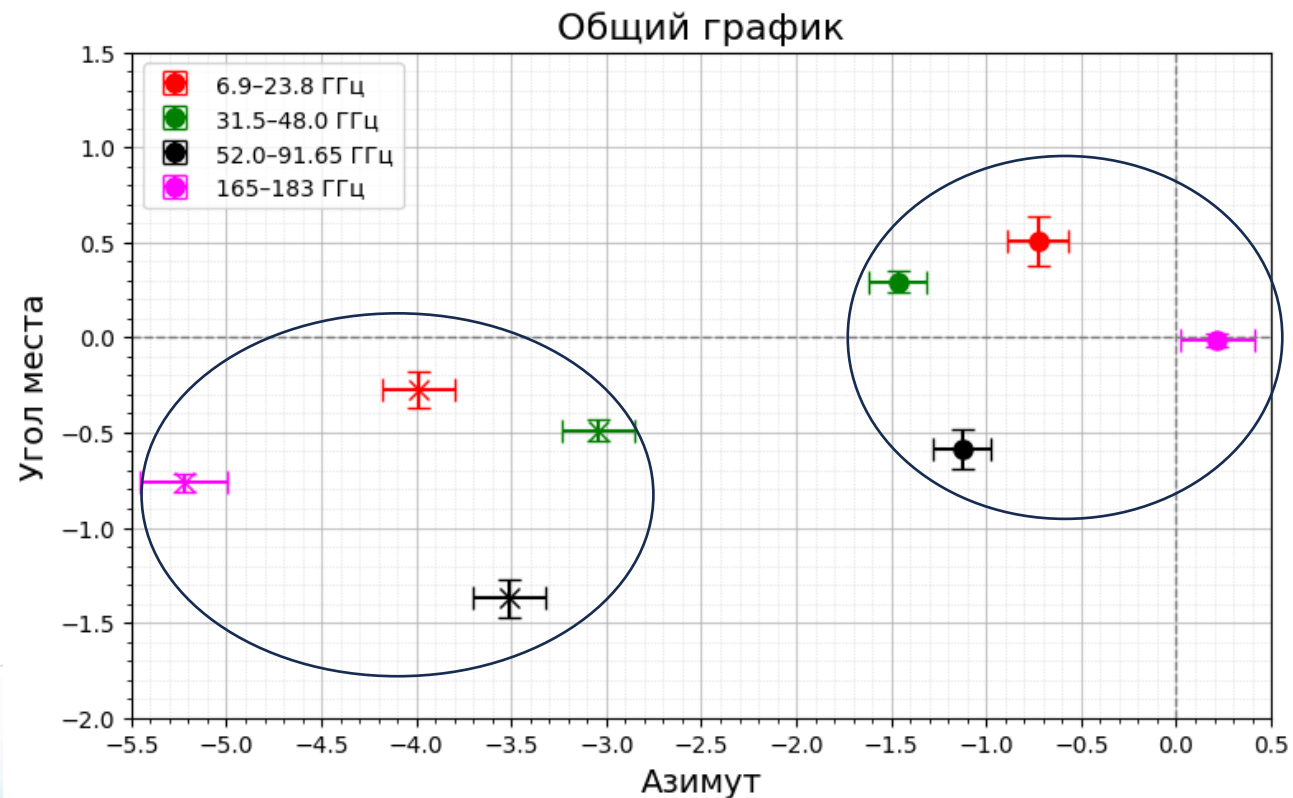
ПОВТОРНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ДИСКА ПРИБОРОМ МТВЗА-ГЯ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СКАНИРОВАНИЯ



АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

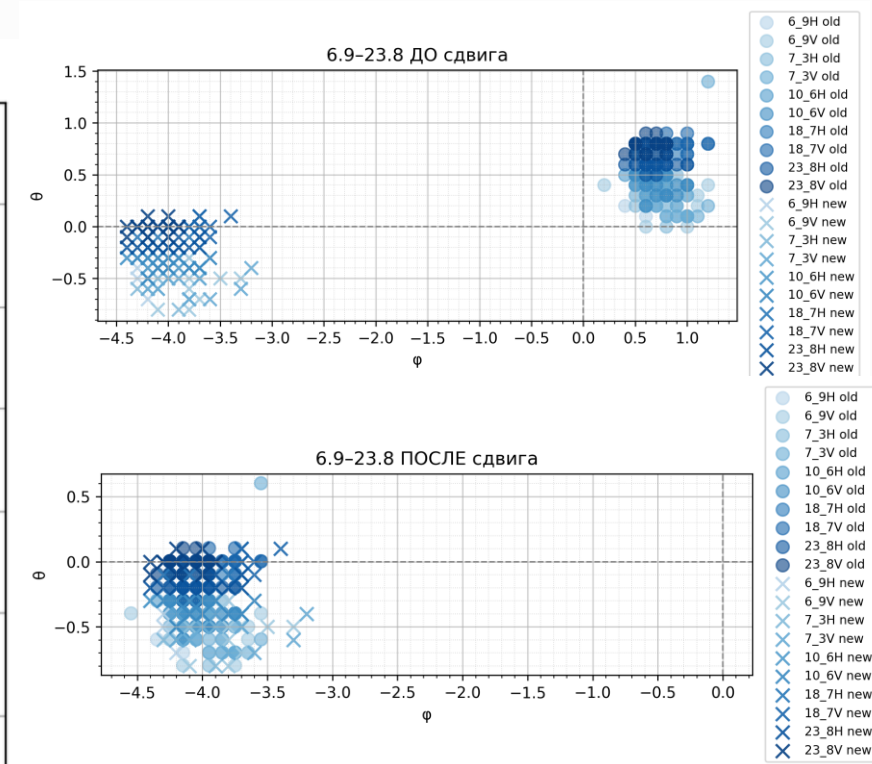
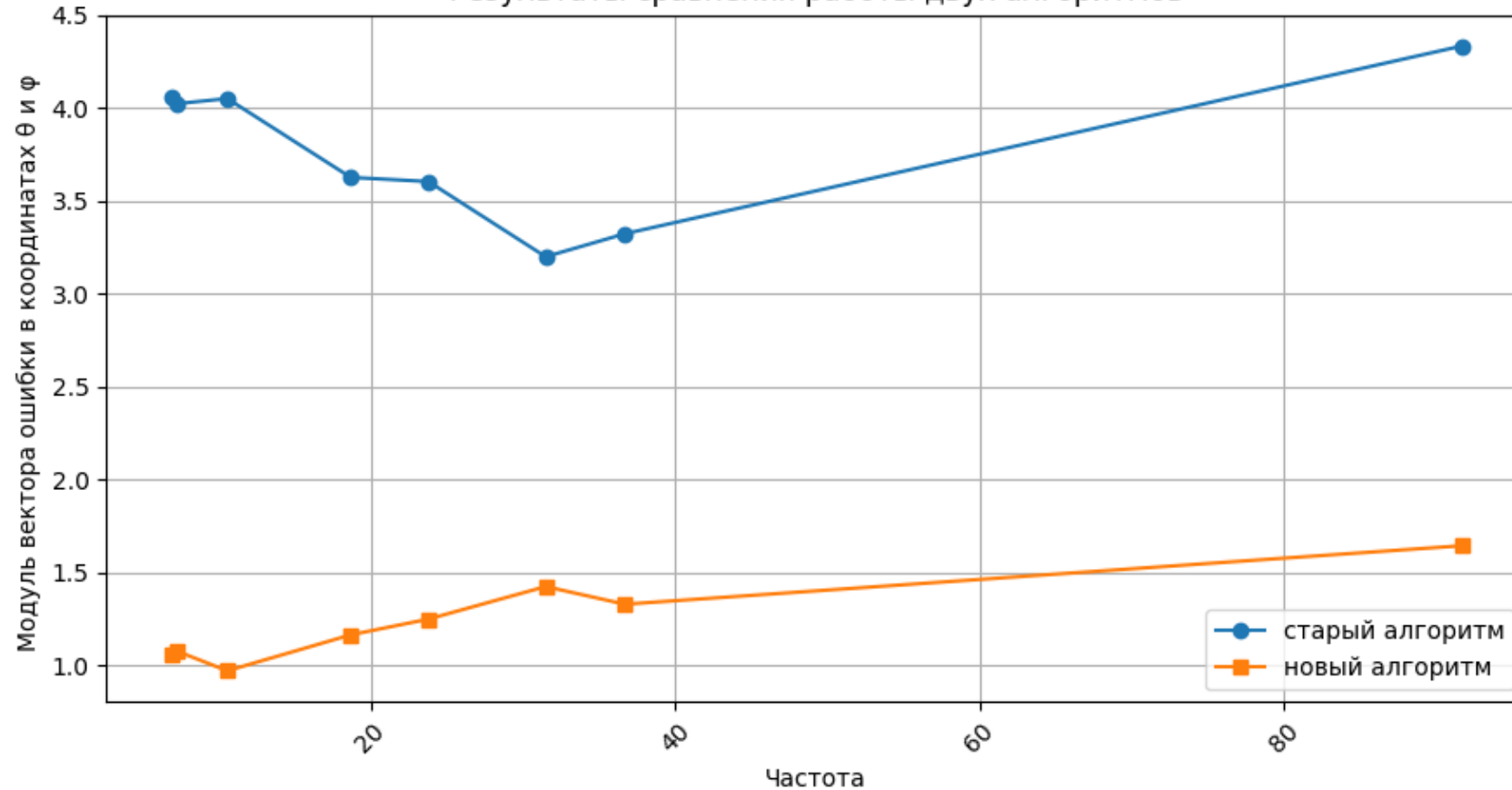


- Обозначения
- старые данные
 - Повторная обработка Солнца
 - ◆ данные по земле
 - 6_9H
 - 6_9V
 - 7_3H
 - 7_3V
 - 10_6H
 - 10_6V
 - 18_7H
 - 18_7V
 - 23_8H
 - 23_8V
 - 6_9
 - 7_3
 - 10_6
 - 18_7
 - 23_8
 - 31_5V
 - 31_5H
 - 36_7H
 - 36_7V
 - 42H
 - 42V
 - 48H
 - 48V
 - 31_5
 - 36_7
 - 91_65V
 - 91_65H
 - 91_65
 - 183_7_0V
 - 58_80V



АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты сравнения работы двух алгоритмов



6.9–23.8 Δ : -4.75 -0.795

31.5–48.0 Δ : -4.555 -0.775

52–91 Δ : -4.635 -0.789

165–183 Δ : -5.011 -0.748

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Выявлены ограничения существующего алгоритма географической привязки измерений приборов серии МТВЗА-ГЯ, связанные с предположением о сонаправленности лучей визирования.
- Обоснован и предложен альтернативный подход к географической привязке, основанный на различной ориентации частотных каналов прибора.
- Показано, что угловые смещения между лучами являются устойчивой индивидуальной характеристикой конкретной версии МТВЗА-ГЯ.
- На примере прибора МТВЗА-ГЯ (КА «Метеор-М» №2-4) продемонстрирована работоспособность предложенного подхода и возможность повышения качества геопривязки.
- Получено согласие угловых смещений, определённых по данным солнечных наблюдений и по совмещению радиометрических изображений с береговой линией.
- Новый подход создаёт основу для реальной географической привязки чисто атмосферных каналов прибора.

Публикации

1. *Клитная А.В., Садовский И.Н.* Коррекция алгоритма географической привязки данных измерений МТВЗА-ГЯ // сборник трудов XXII конференции молодых учёных фундаментальные и прикладные космические исследования 2025 С.202-211. DOI: 10.21046/KMU-2025-202-211.
2. *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.
3. *Клитная А.В., Садовский И.Н.* Уточнение параметров антенной системы микроволнового сканера/зондировщика МТВЗА-ГЯ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 6. С. 115–124 DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-6-115-124

Тезисы/выступления

1. *Клитная А.В., Садовский И.Н.* Коррекция алгоритма
2. географической привязки данных измерений МТВЗА-ГЯ // сборник тезисов докладов XXII конференции молодых учёных фундаментальные и прикладные космические исследования 2025. С.65. URL: [thesis_kmu_2025_1.pdf](#)
3. *Клитная А.В., Садовский И.Н.* Уточнение характеристик антенной системы МТВЗА-ГЯ на основе повторяющихся наблюдений солнечного диска // Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2025. С. 136. DOI 10.21046/23DZZconf-2025a
4. *Клитная А.В., Садовский И.Н.* Повторный анализ данных наблюдений солнечного диска прибором МТВЗА-ГЯ с учетом изменения его оптической схемы сканирования // Международная конференция молодых учёных по космическим исследованиям URL: [КМУ 2027](#)



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!