

Сведение лучей визирования «ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ» каналов МТВЗА-ГЯ

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8)



1

Сазонов Д.С., Садовский И.Н.
Институт космических исследований (ИКИ РАН)

e-mail: sazonov_33m7@mail.ru

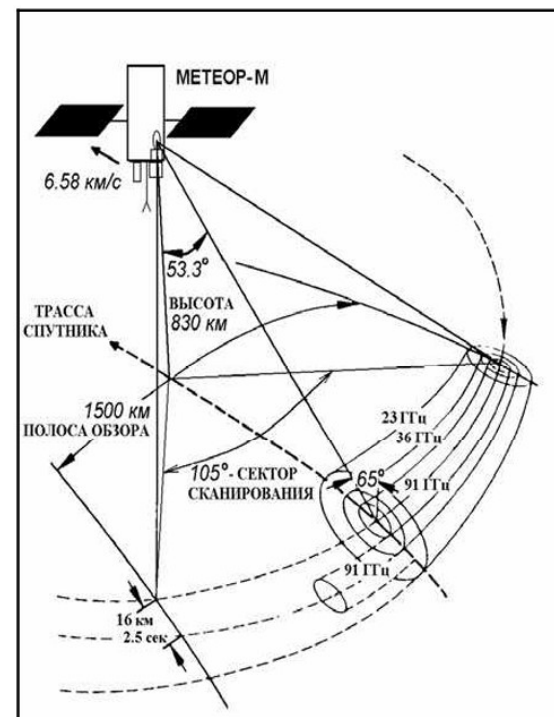
XXI Международная конференция "СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА
13 - 17 ноября 2023 г. Москва

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Антенная система МТВЗА-ГЯ представляет собой однозеркальную антенну с боковым облучением параболического зеркала размером 0.65 м. Групповой многочастотный антенный облучатель включает четыре рупора, каждый из которых оптимизирован в диапазоне 10.6 – 23.8; 31.5 – 48; 52 – 91 и 183 ГГц. Оптические оси антенных лучей радиометрических каналов ориентированы таким образом, что они являются образующими конуса сканирования с углом при вершине 53.3° . Расхождение антенных лучей, которое обусловлено применением группового облучателя, находится в пределах углов $\pm 6.5^\circ$.

Имеющееся угловое расхождение приводит к тому, что частотные каналы, отнесенные к разным облучателям, в фиксированный момент времени наблюдают различные элементы поверхности. С учетом скорости вращения антенного блока МТВЗА-ГЯ (144 град/сек) и высоты орбиты МЕТЕОР-М №2-2 (830 км), а также пренебрегая линейным смещением подспутниковой точки, наблюдаемые элементы оказываются разнесенными на расстояние порядка 250 км.

Существующие методы решения обратных задач пассивной радиометрии базируются на предположении о наличии синхронных многочастотных наблюдений выделенного элемента земной поверхности. Таким образом, имеющиеся расхождения (пространственные и временные) между лучами визирования требуется устранять.



Геометрия наблюдения
МТВЗА-ГЯ

В работе (Садовский, Сазонов, 2023) представлено подробное описание подхода, позволяющего контролировать качество географической привязки МТВЗА-ГЯ и определять оптимальные значения корректирующих углов крена, тангажа и рыскания. Использование указанного подхода позволило обеспечить точность привязки каналов с частотой от 10 до 42 ГГц на уровне 4.5 км, однако качество географической для канала 91.65 ГГц оказалось существенно хуже.

Провести привязку канала 91.65 ГГц можно по схеме, аналогичной применяемой для низкочастотных (поверхностных) каналов МТВЗА-ГЯ, **невозможно**. Метод работает при наличии измерений на **горизонтальной поляризации**. К сожалению, у прибора МТВЗА-ГЯ на частоте 91.65 ГГц работает только вертикальная поляризация, поэтому применение упомянутой методики затруднено в силу малого контраста яркостных температур вода/суша и сильного влияния атмосферных явлений (паросодержание, капельная влага, осадки).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Разработать альтернативный подход/метод для выполнения географической привязки группы каналов 52 – 91 ГГц прибора МТВЗА-ГЯ

АНАЛИЗ ИНДЕКСА РАССЕЯНИЯ SI

В работе (Сазонов, 2023) был выполнен анализ возможности восстановления интенсивности осадков по данным МТВЗА-ГЯ. Для оценки интенсивности осадков использовался индекс рассеяния SI (англ. Scattering Index). Данный индекс характеризует наличие лишь тех веществ в атмосфере и на поверхности, которые рассеивают восходящее радиотепловое излучение.

Индекс рассеяния для частоты 91.65 ГГц (V), может быть записан в виде: $SI = F - T_{91,65}^V$

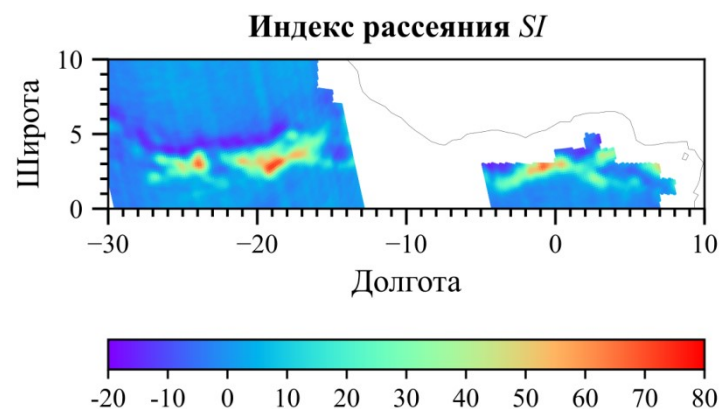
F – некоторая функция, выраженная в виде суммы радиоярких температур (с разными весовыми коэффициентами) на частотах, отличных от 91.65 ГГц, и характеризующая каким могло бы быть излучение на частоте 91.65 ГГц в отсутствии рассеяния;

$T_{91,65}^V$ – измеряемая прибором радиояркая температура на частоте 91.65 ГГц (вертикальная поляризация). Известно, что при наличии рассеяния (на дождевых каплях), радиояркая температура уменьшается. При этом расчет по формуле всегда должен давать положительное значение параметра SI , а его абсолютное значение позволяет оценивать интенсивность осадков.

При применении описанного алгоритма к длинным рядам измерений МТВЗА-ГЯ была отмечены следующие особенности:

- сравнение с данными реанализа GPM IMERG демонстрирует систематическое смещение зон локализации осадков и оценок их интенсивности;
- на картах распределения индекса рассеяния по данным МТВЗА-ГЯ проявляются хорошо идентифицируемые зоны с **отрицательными значениями SI !**

Это противоречит физическим представлениям, используемым при введении этого параметра. Характер расположения этих зон и их систематика, свидетельствуют о присутствии дополнительного (по отношению к низкочастотным каналам) угла тангажа в ориентации луча визирования частотного канала 91.65 ГГц.



АЛГОРИТМ ПОДБОРА КОРРЕКТИРУЮЩИХ УГЛОВ ПО ОБЛАСТЯМ ОСАДКОВ

Общая идея предложенного подхода заключается в определении углов, при которых минимизируется суммарное отрицательное значение индекса рассеяния SI для всех выделенных областей осадков за один день наблюдений.

Рассчитываются значения двух параметров:

N_i – количество пикселей, для которых $SI < 0$

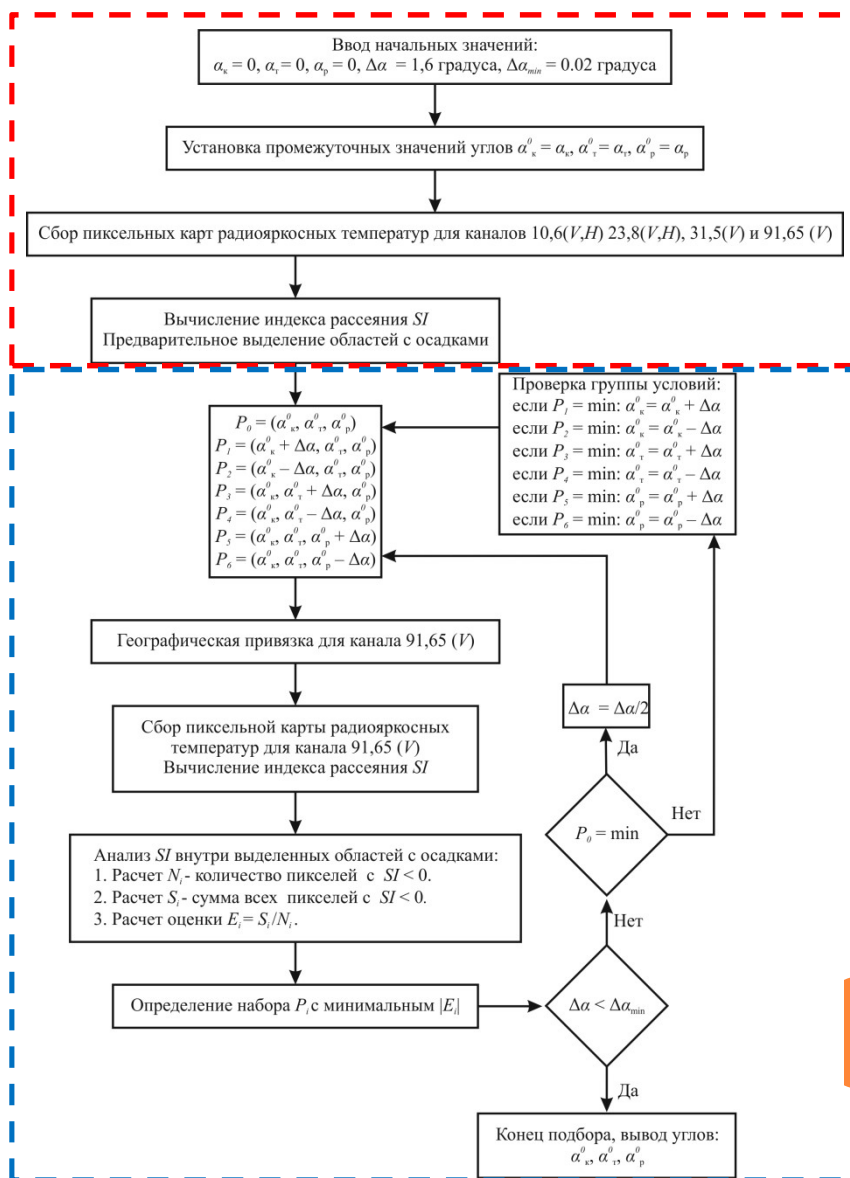
S_i – сумма значений индекса рассеяния для этих пикселей.

В качестве оценки и минимизируемого параметра выступает отношение суммы пикселей с отрицательными значениями индекса рассеяния к их количеству ($E_i = S_i / N_i$).

Чем ближе это отношение к нулю, тем точнее совпадают области с осадками, определенными по набору каналов 10.6(V,H) 23.8(V,H), 31.5(V) и по измерениям на канале 91.65(V).

Критерием нахождения оптимального сочетания корректирующих углов крена, тангажа и рыскания или, другими словами, критерием завершения итерационного цикла описанных операций, является достижение шага $\Delta\alpha$, заданного значения $\Delta\alpha_{\min}$ (в нашем случае – 0.02°).

Для геометрии сканирования МТВЗА-ГЯ, подобная точность подбора корректирующих углов геопривязки соответствует смещению по поверхности Земли на величину порядка 0.8 км, что более чем достаточно с учетом размера элемента разрешения МТВЗА-ГЯ (16 км).



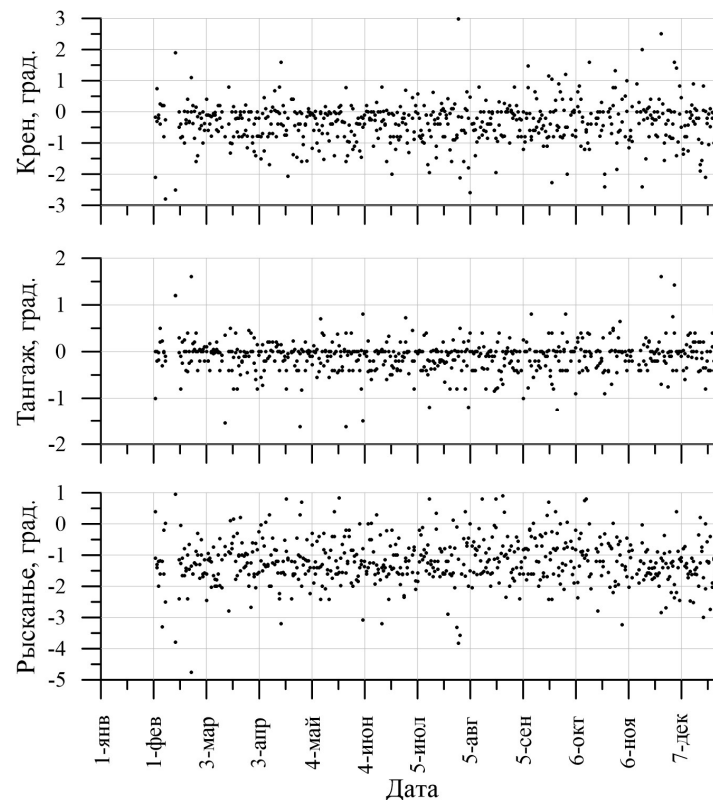
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА КОРРЕКТИРУЮЩИХ УГЛОВ ДЛЯ КАНАЛА 91,65 ГГц

Описанный алгоритм поиска корректирующих углов крена, тангажа и рыскания применялся при обработке данных измерений МТВЗА-ГЯ, полученных с этого прибора за 2020 год.

После сортировки (включающей выбраковывание ошибочных и неполных данных), выполняемой в автоматическом режиме комплексом предварительной обработки, набор данных составил 281 сутки измерений. Из этого массива суммарно было выделено 3448 областей осадков для восходящих витков и 4166 для нисходящих витков.

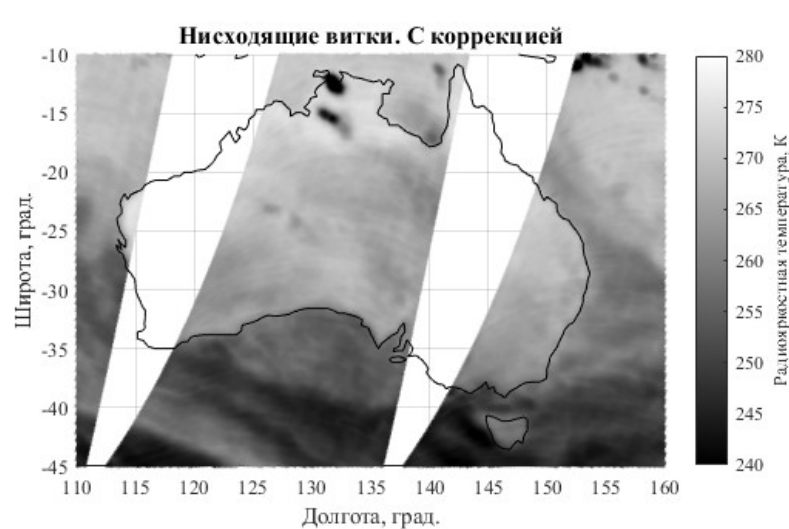
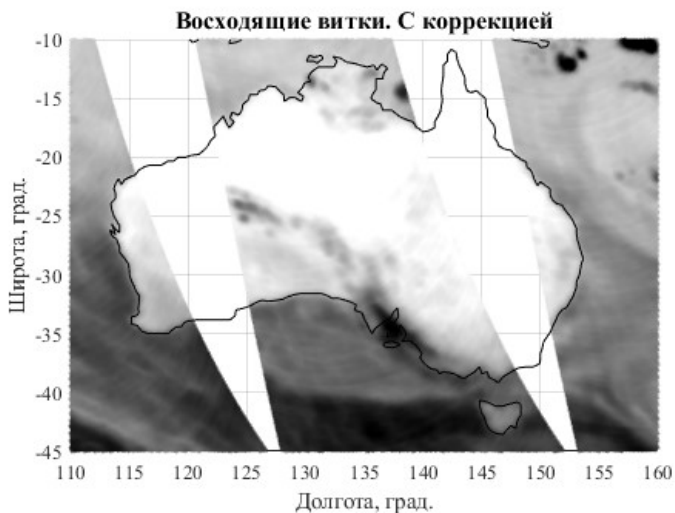
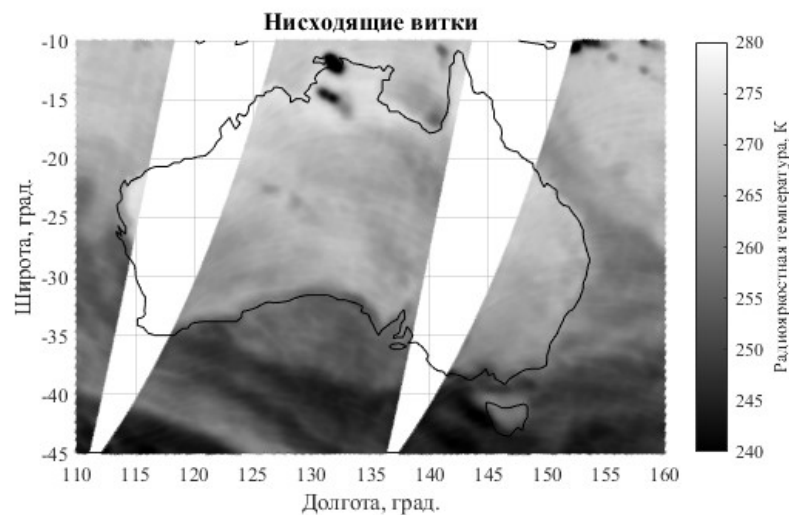
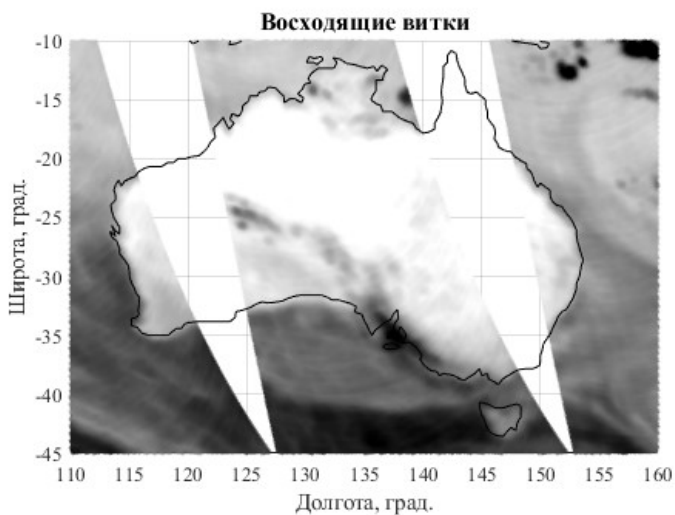
Алгоритм поиска применялся для каждого дня измерений отдельно, что позволило накопить статистику.

Средние значения и СКО полученных за весь период решений составили: угол **крена** (-0.37 ± 0.71)°, угол **тангажа** (-0.09 ± 0.65)° и угол **рыскания** (-1.21 ± 0.76)°.



Результаты определения корректирующих углов крена, тангажа и рыскания по данным измерений МТВЗА-ГЯ на частоте 91,65 ГГц (У) за 2020 год. Каждая точка – результат обработки данных за одни сутки.

ВИЗУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕОПРИВЯЗКИ



ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕОПРИВЯЗКИ

Для канала 91.65 ГГц (V) проведение численных оценок качества геопривязки по близости истинной береговой линии к восстановленной по радиоиметрическим портретам проблематично из-за следующих факторов:

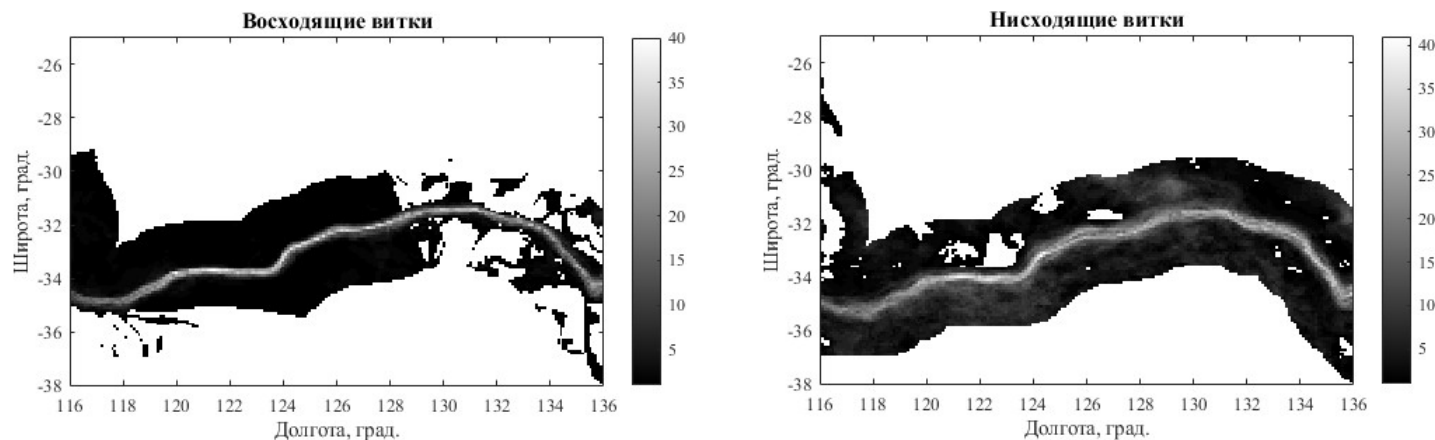
- Меньшая разницей в излучении вода/суша (всего порядка 30-40 К при угле встречи с землей 65°), чем на горизонтальной;
- Высокая чувствительностью канала к атмосферным явлениям (большое содержание водяного пара, капельной влаги и осадков);
- Ограничения на выбор участков береговых линий, пригодных для анализа, при работе с картами на регулярной сетке. Они должны быть не только прямолинейными и протяженными, но и, по возможности, иметь перпендикулярную меридианам или параллелям ориентацию.

Решение проблемы:

- Работа с «прямыми» участками береговой линии. Южный берег Австралии ($121-135^\circ$ в.д.), и западное побережье Северной Америки ($39-47^\circ$ с.ш.);
- Использование данных только при условиях безоблачной атмосферы с малым содержанием водяного пара;
- Накопление данных восстановленной береговой линии за весь период анализа (с февраля по декабрь 2020 года).

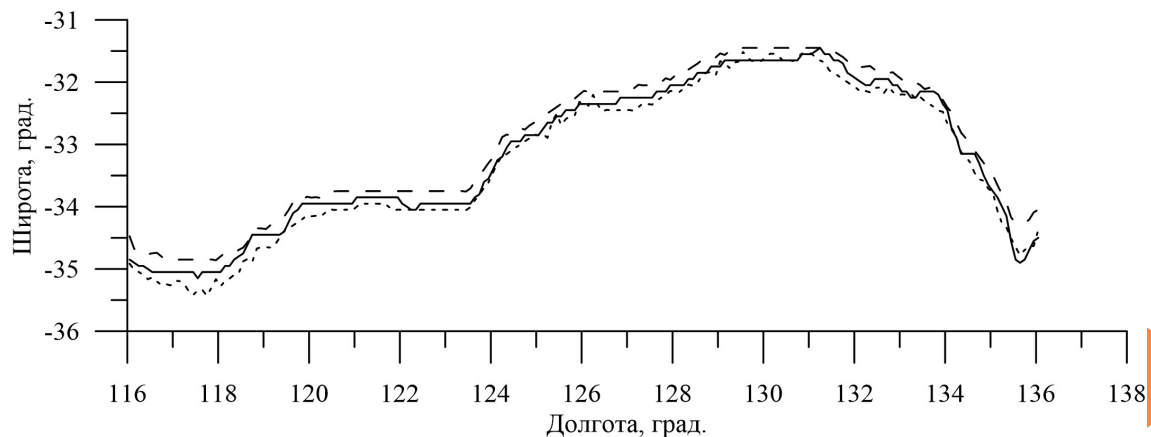
ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕОПРИВЯЗКИ

Накопление береговой линии за 2020 год с учетом отбора по паросодержанию менее 20 мм, интенсивности осадков менее 0,1 мм/ч и водозапаса облачности менее 0,1 мм.



Найденные береговые линии с геопривязкой по областям осадков.
 Пунктир – по восходящим виткам, точки – по нисходящим виткам. Сплошная – точная береговая линия.

Восстановленные береговые линии качественно повторяют истинную географическую линию. При этом линия для восходящих витков находится выше истинной, а для нисходящих – ниже. Средняя точность географической привязки составляет 11.515 ± 11.08 км.



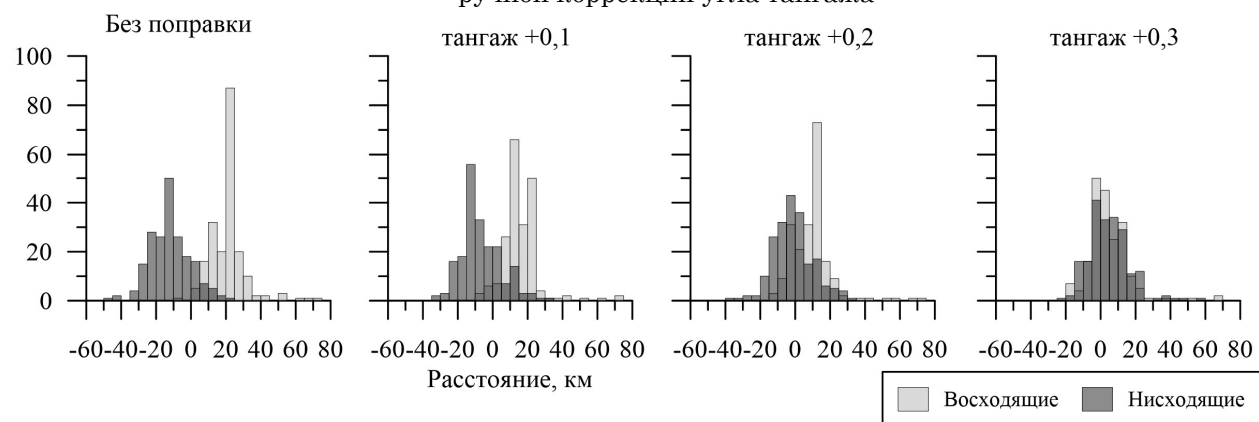
ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕОПРИВЯЗКИ

Смещение горизонтальной береговой линии вдоль направления движения спутника определяется углом тангажа.

Были выполнены дополнительные расчеты карт береговых линий. При этом вводилась ручная коррекция угла тангажа, которая составила +0.1, +0.2 и +0.3° (относительно найденного в автоматическом режиме значения -0.09°).

Суммарная точность географической привязки с коррекцией тангажа **+0,3°** составила **7,62±10,64 км**, что почти вдвое лучше, чем с нулевой коррекцией.

Гистограммы расстояния между найденной и точной береговой линией для четырех вариантов ручной коррекции угла тангажа



Статистика по подобранным поправочным значениям угла тангажа

Регион	Австралия				Северная Америка			
	Восходящие витки		Нисходящие витки		Восходящие витки		Нисходящие витки	
Ручная коррекция тангажа	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
0	20.78	10.47	-11.63	11.44	-3.18	12.64	10.47	9.76
0,1	15.48	10.49	-6.61	11.09	-7.58	8.49	11.72	11.14
0,2	8.95	11.36	-1.15	11.12	-10.18	7.91	10.11	9.77
0,3	3.77	11.61	4.58	11.32	-11.04	8.75	11.08	10.86

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для определения истинных углов визирования группы каналов 52 – 91 ГГц в системе координат спутника-носителя «МЕТЕОР-М» №2-2 были использованы доступные результаты измерений на частоте 91.65 ГГц (V). Для этих целей был предложен подход, основанный на анализе особенностей пространственного распределения индекса рассеяния, являющегося вспомогательной функцией в задаче восстановления зон выпадения осадков по данным радиополяриметрических спутниковых измерений.

Применение указанного подхода позволило наглядно продемонстрировать отличие в направлении визирования группы каналов 52 – 91 ГГц по отношению к более низкочастотным. Полученные по результатам обработки измерений МТВЗА-ГЯ за 2020 год корректирующие углы составили:

крен (-0.37 ± 0.71)°, тангаж (-0.09 ± 0.65)° и рыскание (-1.21 ± 0.76)°.

Средние расхождения истинной географической и восстановленной по радиометрическим портретам береговых линий составили **11.515 ± 11.08 км**, что существенно лучше уровня имеющихся в настоящее время ошибок геопривязки этой группы каналов.

Предложенный авторами метод количественной оценки качества геопривязки основан на составлении композитных изображений береговых линий, накапливаемых в пределах доступных измерений, позволил не только получить требуемые показатели, но и выполнить коррекцию найденного угла тангажа, обеспечившую точность географической привязки на уровне **7.62 км**. Включение предложенного подхода в процедуру автоматического определения углов ориентации группы частотных каналов 52 – 91 ГГц будет способствовать повышению точности их географической привязки, а также точности решения задач дистанционного зондирования их использующих. Также, предложенный алгоритм может быть использован для анализа данных следующих приборов серии МТВЗА.

Обобщая все результаты, рекомендуется использовать следующие значения корректирующих углов для группы каналов 52 – 91 ГГц МТВЗА-ГЯ:

крен (-0.37 ± 0.71)°, тангаж (0.21 ± 0.65)° и рыскание (-1.21 ± 0.76)°.

По мнению авторов работы, затронутая в докладе проблема и поиск нестандартных подходов к ее решению свидетельствует о необходимости отказа от существующей системы аппаратного сведения лучей визирования МТВЗА-ГЯ при реализации новых приборов этой серии.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



12