



- **Качество первичной обработки данных спутников
Ресурс-П и Канопус-В**

А.И. Алексанин, Дьяков С.Е., В.А. Качур, М.А. Морозов, Е.В. Фомин

e-mail: aleks@iacp.dvo.ru

**Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН
Владивосток**



Постановка задачи

Цель - оценить качество поставляемых НЦ ОМЗ продуктов обработки данных с российских космических аппаратов Ресурс-П №1 и 2 (Геотон) и Канопус-В и –В-ИК (камеры ПСС МСС).

Проверка.

- 1. Проверка на наличие оптических аберраций и нелинейных искажений «сырых» изображений (прошедших только склейку микрокадров) и изображений в меркаторской проекции, построенной только по орбитальным данным.**
- 2. Проверка точности калибровок камер МСС по инструментальным измерениям излучения от снимаемой спутником поверхности.**



Проверка на наличие нелинейных искажений

Методика проверки.

Проверяется точность совмещения изображений разных спектральных каналов конкретного спутника как с одного сеанса съемки, так и с разных сеансов, снятых под существенно разными углами относительно надира.

Проверка проходила на изображениях льда Амурского залива Японского моря. В силу отсутствия приливов (максимальный прилив 40 см) поверхность льда можно рассматривать как плоскую и неподвижную. Все проанализированные изображения получены в течение месяца. От НЦ ОМЗ были получены изображения с одного и того же сеанса съемки как уровня 1 так и 2. Размер фрагментов изображений был не более 9X9 км. Рабочий размер – 6X6 км.

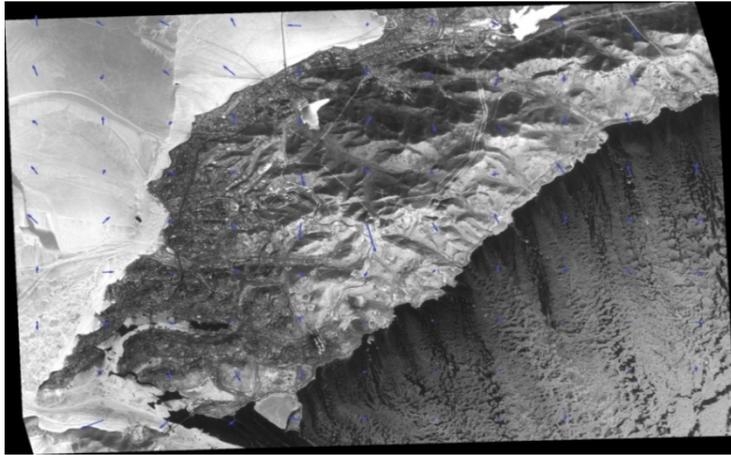
Совмещение изображений проводилось автоматически разработанным авторами алгоритмом, позволяющим рассчитывать точность совмещения в каждом пикселе. Все изображения масштабировались на наилучшее пространственное разрешение (0.7 м для Геотона, 2 м для Канопуса).

Считалось, что искажений нет, если два изображения совмещаются с пиксельной точностью в каждой точке сцены некоторым трехмерным аффинным преобразованием.

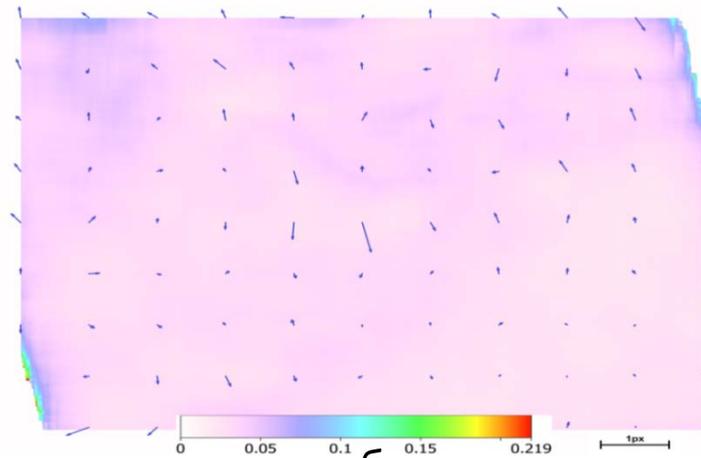


Проверка геометрии изображений

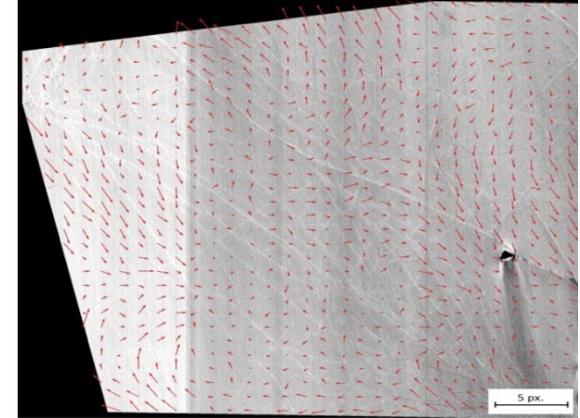
Уровень обработки 1. Канопус-В-ИК; Ресурс-П №1, Геотон.



а



б



в

а - изображение г. Владивосток (синий канал, Канопус) за 25.01.2018 и вектора смещений между этим изображением и отмасштабированным и трансформированным изображением ПСС. б – вектора отклонений от аффинного преобразования фрагмента изображения на карте точности расчета векторов совмещения. в - вектора отклонений после аффинного преобразования на изображении льда прибора Геотон (Ресурс-П1).

На изображениях льда (отсутствие влияния рельефа) максимальная ошибка пространственного рассогласования 1.5 пикселя панхроматического изображения Геотон, максимальное рассогласование расстояний между двумя точками – 3 пикселя (чуть более 2-х метров). У других спектральных каналов и камер ПСС и МСС Канопуса – менее пикселя.

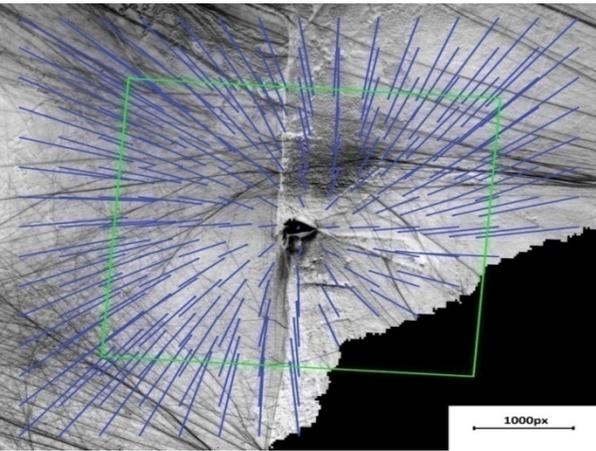
Размеры фрагментов – до 9X9км.

Выводы : «Железо» сделано хорошо. Невозможность совмещения изображений всех спектральных каналов прибора Геотон с точностью лучше чем 2 метра скорее всего связана с неточностями сшивки микрокадров.

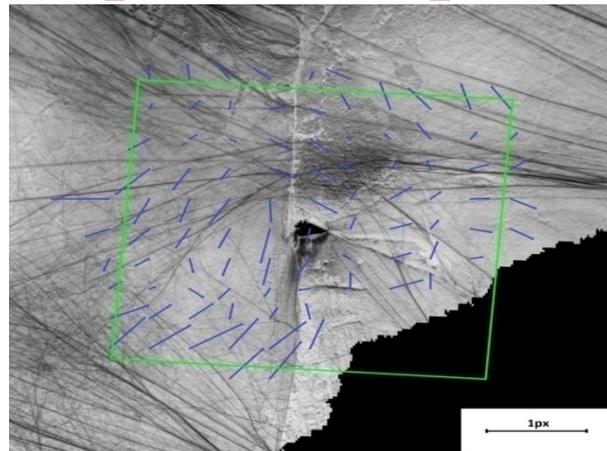


Проверка геометрии изображений

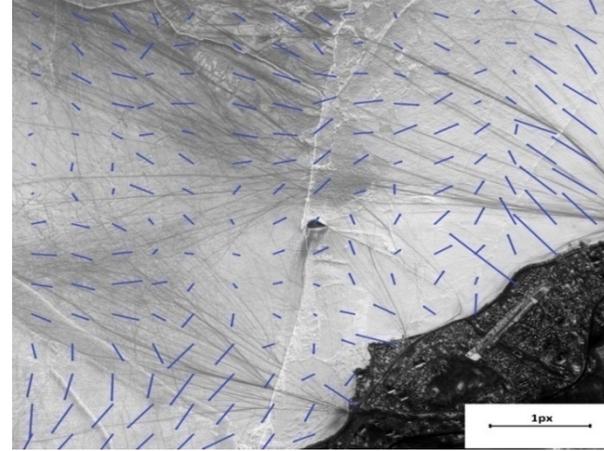
Уровень обработки 2. Ресурс-П №1, Геотон



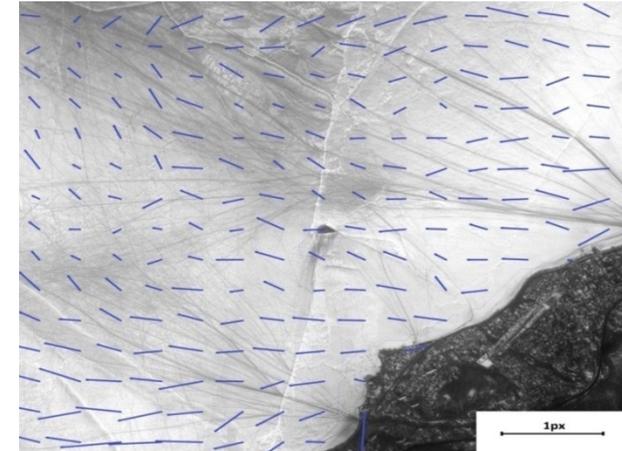
а



б



в



г

Точность аффинного совмещения изображений льда в меркаторской проекции, съемка за 22 и 23 января 2018 при разнице углов съемки около 30 градусов . а – автоматически рассчитанные вектора смещений; б – остаточные вектора рассогласований между панхроматическими изображения двух сеансов; в – рассогласования между панхроматическим и красным каналами одного сеанса; г – аналогичные рассогласования для панхроматического и синего каналов.

Остаточная точность после аффинного преобразования везде меньше 1 пикселя панхроматического канала. То есть значимых нелинейных рассогласований нет. То есть, можно построить физическую модель геопривязки изображений, которая обеспечит привязку полной сцены посредством подбора ее параметров. Параметры аффинных преобразований показывают, что изображения не совпадают из-за рассогласований углов и масштабов. Разные углы приборов и камер – это преимущество спутника для точной географической привязки изображений на основе физических моделей сканирования приборов.



Расчет излучения, достигшего спутника

$$L_t = L_A + L_R + L_{RA} + L_g + t_0 t_v (L_W + L_{WC})$$

L_t – излучение достигшее спутника.

$L_A + L_{RA}$ – вклад в излучение связанный с атмосферным аэрозолем рассчитывается с использованием атмосферной аэрозольной оптической толщины, альbedo однократного рассеивания аэрозоля и фазовой функции рассеивания аэрозоля.

L_R – рэлеевское рассеивание.

L_g – излучение солнечного зайчика, в данной задаче им можно пренебречь, выбрав спутниковые снимки без солнечного зайчика.

L_W – восходящее из воды излучение рассчитывается по радиометрическим измерениям излучения воды и неба непосредственно над водной поверхностью.

L_{WC} – излучение от пенных барашков, зависит от скорости ветра.

$t_0 t_v$ – учет прохождения излучения сигнала через атмосферу от солнца к водной поверхности и от водной поверхности к спутниковому сенсору.

Алгоритм расчета L_t , основан на оптических протоколах NASA с учетом современных достижений в этой области.



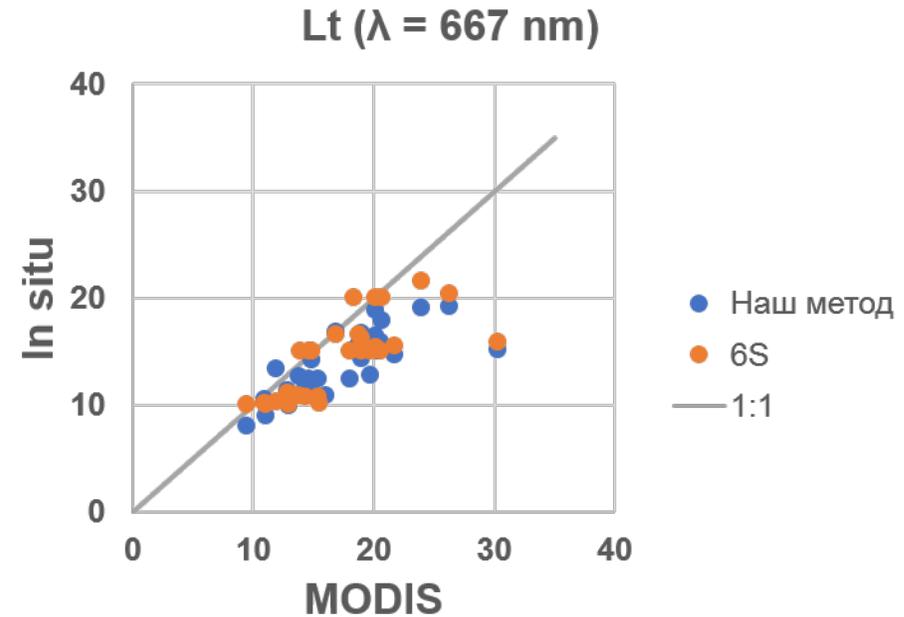
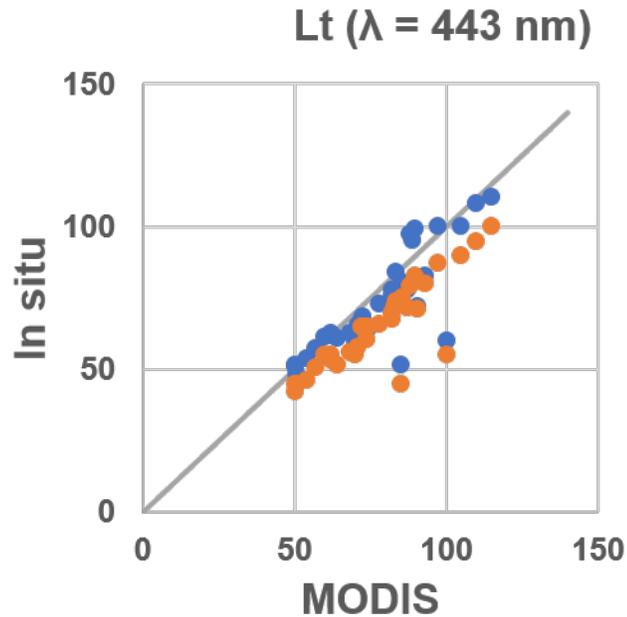
Расчет вклада атмосферы в регистрируемое спутником излучение

- $LA = \rho_A * F_0 * \mu_0 / \pi / d$, где $\rho_A = \omega_A * \tau_A * PA(\Theta) / (4 * \mu_0 * \mu\nu)$,
 F_0 – Солнечная постоянная,
 μ_0 – косинус зенитного угла солнца,
 $\mu\nu$ – косинус зенитного угла спутника,
 d – расстояние между Землей и солнцем в астрономических единицах,
 ω_A – альбедо однократного рассеивания аэрозоля,
 τ_A – аэрозольная оптическая толщина атмосферы,
 $PA(\Theta)$ – фазовая функция (индикатриса) рассеивания для аэрозоля.
 ω_A , τ_A и $PA(\Theta)$ рассчитывались на станциях AERONET.
- $LR = \rho_R * F_0 * \mu_0 / \pi / d$, где $\rho_R = \omega_R * \tau_R * PR(\Theta) / (4 * \mu_0 * \mu\nu)$. $\omega_R = 1$.

Рэлеевская оптическая толщина атмосферы τ_R рассчитывалась на станциях AERONET. Фазовая функция рэлеевского рассеивания $PR(\Theta)$ рассчитывалась с учетом геометрии расположения спутникового сенсора и Солнца, а также с учетом взаимодействия излучения диффузного рассеивания с водной поверхностью.



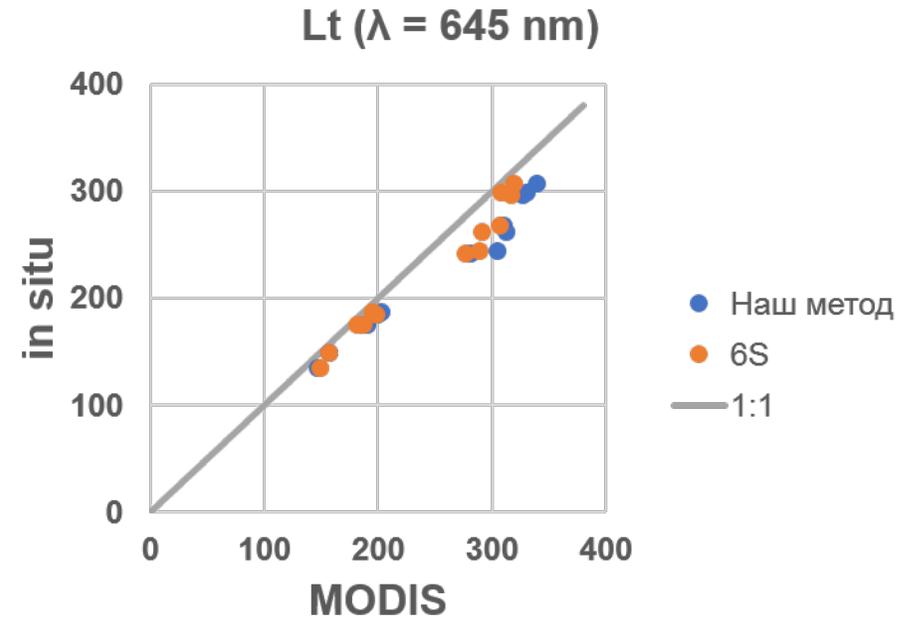
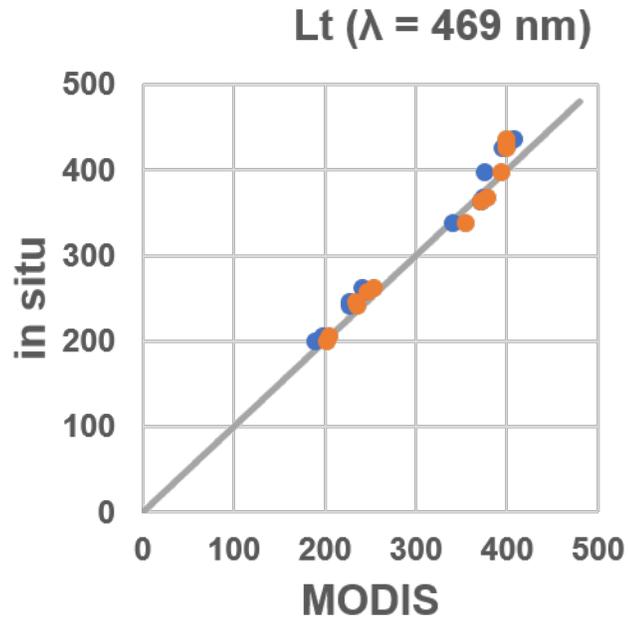
Анализ рассогласований радиометра MODIS и модельных данных для морской поверхности (станция AERONET Lucinda)



	Абсолютная невязка [W / (m ² · sr · um)]				Относительная невязка [%]			
	Наша методика		6S		Наша методика		6S	
λ	443	667	443	667	443	667	443	667
среднее значение	4,96	3,36	10,29	2,62	4,3	24,3	15,5	18,9
медиана	4,11	2,86	9,73	2,36	4,4	21,6	14,8	16,8
стандартное отклонение	9,88	3,02	3,63	3,13	8,1	20,3	04,9	21



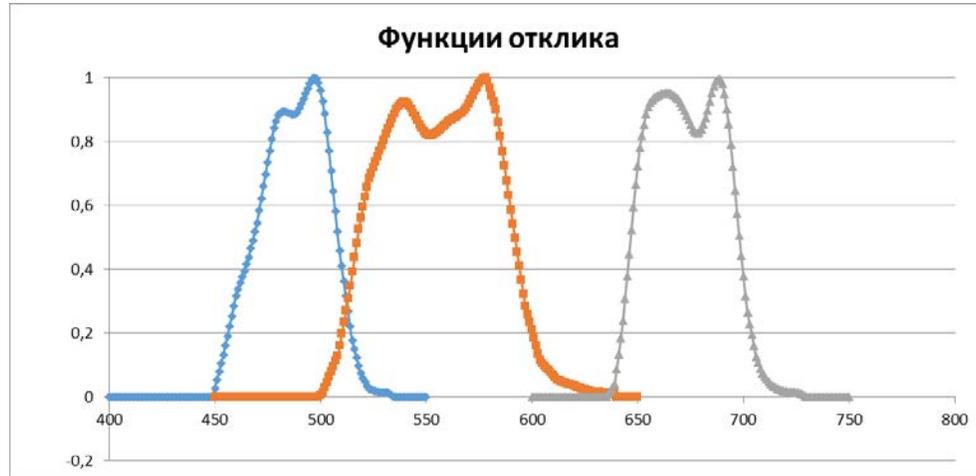
Анализ рассогласований радиометра MODIS и модельных данных для ледника Гренландии



	Абсолютная невязка [W / (m ² • sr • um)]				Относительная невязка [%]			
	Наша методика		6S		Наша методика		6S	
λ	469	645	469	645	469	645	469	645
среднее значение	13,80	-28,25	7,52	-19,62	4,8	-10,5	2,2	-7,8
медиана	14,25	-30,60	5,40	-14,40	5,9	-9,4	2,3	-6,7

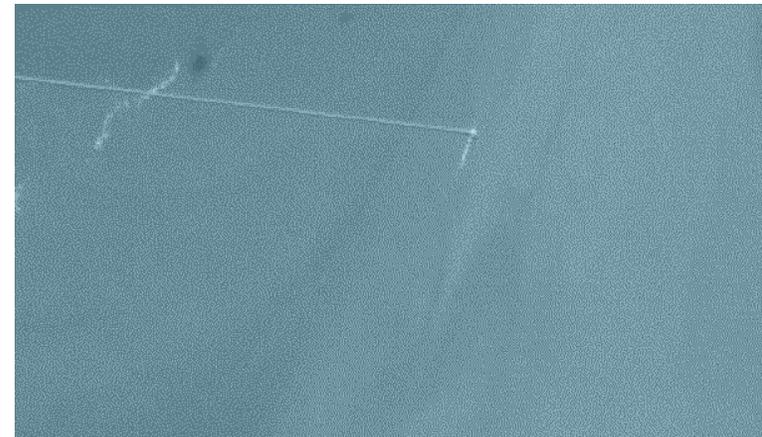


Проверка методики на данных Канопус-В-ИК (МСС)



Станция AERONET
Lucinda на Google
Maps

Далее методика была адаптирована для калибровки радиометра МСС спутника Канопус-В-ИК с использованием спектральных аппаратных функций его аналога – белорусского спутника БКА.

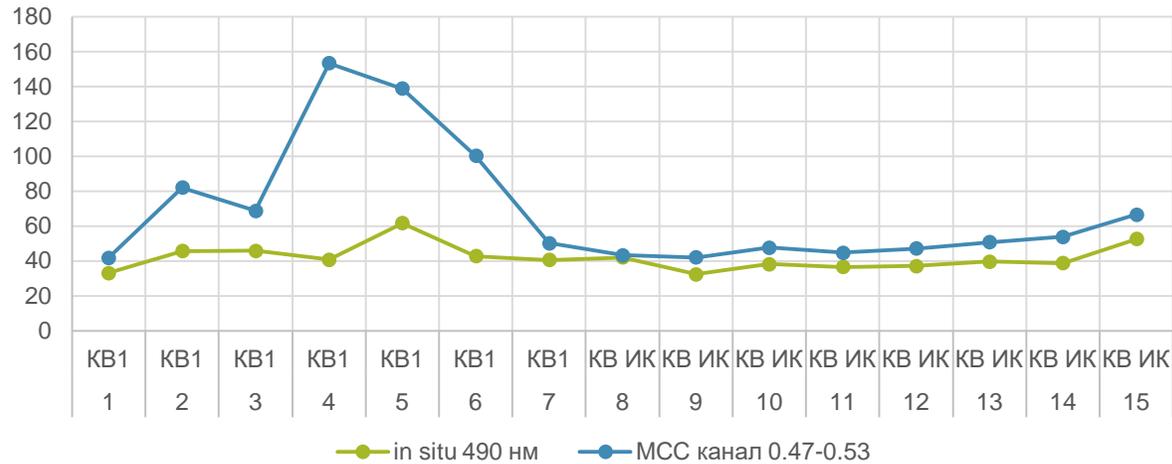


Снимок
окрестностей
станции AERONET
Lucinda
радиометром
МСС/Канопус-В
(канал №1).

Через систему Геопортал Роскосмоса был сделан заказ снимков КА Канопус-В-ИК в окрестностях станций AERONET. Всего было отобрано 6 снимков ледника Гренландии около станции AERONET Kangerlussuaq и 8 снимков акватории возле морских станций.



Анализ рассогласований радиометра МСС и модельных данных



Пример рассогласований данных радиометра МСС спутников Канопус – В1 и Канопус-В-ИК и модельных данных для морской поверхности. Рассогласования измеренного спутником и рассчитанного сигналов могут различаться в несколько раз.

Данные Канопус-В-ИК для морской поверхности

λ	Абсолютная невязка [W / (m ² • sr • um)]			Относительная невязка [%]		
	470 - 530	520 - 600	639 - 703	470 - 530	520 - 600	639 - 703
среднее значение	9,90	10,05	8,65	25,2	37,9	81,4
медиана	9,92	9,54	7,89	27,2	37,6	74,5
стандартное отклонение	4,26	4,98	5,62	10,4	18,3	54,3

Данные Канопус-В-ИК для ледника Гренландии

λ	Абсолютная невязка [W / (m ² • sr • um)]			Относительная невязка [%]		
	470 - 530	520 - 600	639 - 703	470 - 530	520 - 600	639 - 703
среднее значение	-23,40	-26,02	-27,93	-6,2	-7,4	-9,5
медиана	-23,07	-26,59	-28,96	-6,4	-7,4	-9,8
стандартное отклонение	10,09	8,27	6,97	2,6	2,0	2,5



Сравнение рассогласований радиометров MODIS и МСС относительно модельных расчетов

Относительная невязка [%] на морских данных

	МСС / Канопус-В-ИК			MODIS / Aqua			
	Наша методика			Наша методика		6S	
λ	470 - 530	520 - 600	639 - 703	443	667	443	667
среднее значение	25,2	37,9	81,4	4,3	24,3	15,5	18,9
медиана	27,2	37,6	74,5	4,4	21,6	14,8	16,8
стандартное отклонение	10,4	18,3	54,3	8,1	20,3	4,9	21

Относительная невязка [%] на леднике

	МСС / Канопус-В-ИК			MODIS / Aqua			
	Наша методика			Наша методика		6S	
λ	470 - 530	520 - 600	639 - 703	443	667	443	667
среднее значение	-6,2	-7,4	-9,5	4,8	-10,5	2,2	-7,8
медиана	-6,4	-7,4	-9,8	5,9	-9,4	2,3	-6,7
стандартное отклонение	2,6	2,0	2,5	3,8	4,2	4,3	4,0



ВЫВОДЫ

- 1. Исходные изображения с приборов МСС и ПСС (Канопус) и Геотон (Ресурс) и обработанные до уровня 2А не содержат каких-либо значимых нелинейных искажений. Поэтому можно построить физическую модель, обеспечивающую географическую привязку изображений с пиксельной точностью по нескольким реперным точкам. Для спутников Канопус-В, снимающие длинные полосы без изменения углов съемки высокоточная географическая привязка обеспечивается для всей полосы, в том числе и для районов, где реперных точек нет.**
- 2. Предложены две методики атмосферной коррекции изображений видимых каналов по измерениям в областях станций сети AERONET. Методики апробированы на изображениях радиометра MODIS/AQUA и показывают близкие результаты.**
- 3. Применение методик показало: изображения Канопус-В №1 откалиброваны плохо. Наиболее вероятная причина – не удалены шумы систематического характера на микрокадрах. Калибровка Канопус-В-ИК сделана существенно лучше. На воде (слабый сигнал, регистрируемый спутником) относительные ошибки калибровки значительные, на леднике (сигнал, близкий к максимальному) относительные ошибки близки к ошибкам методик.**



Vladivostok

Благодарю за внимание!