

Радиометрическая коррекция и калибровка китайского радиометра MERSI-LL/FY-3E

Алексанин А.И., Тимофеев А.Н.

Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН,

Дальневосточный федеральный университет

E-mail: aleks@iacp.dvo.ru



Постановка задачи

Проблема – карты температуры поверхности океана для конкретного сеанса съемки с требуемой точностью не строятся. Строятся либо карты усредненные за длительный интервал времени, либо спустя несколько дней на основе кросс-калибровки.

Цели:

- 1. Понять причины невысокой точности калибровки инфракрасных каналов спектрорадиометра MERSI-LL.**
- 2. Построить модели коррекции искажений сигнала радиометра MERSI-LL.**
- 3. Разработать алгоритмы относительной и абсолютной калибровки инфракрасных каналов для построения карты температуры поверхности океана.**



FY-3E

Характеристики радиометра:

7 ИК-каналов, один в видимом спектральном диапазоне (не работает)

Отличительные особенности:

- каналы 6 и 7 (10.8 и 12 мкм) позволяют строить карты температуры поверхности океана по технологии MCSST или NLSST;
- пространственное разрешение 250м;
- пиксель – 12 бит;
- время съемки - утро и вечер.

Каналы 6 и 7 - сканирование полосы 40-датчиками одновременно.

Программное обеспечение (ПО) от Китайской метеорологической администрации (КМА) выдает уровень обработки L1. До начала этого года к сырым данным уровня обработки L0 прилагалась таблица поправок яркости. С этого года уровни яркости L1 «запорчены» радиометрической коррекцией. Описание форматов уровня L0 не дают. Калибруют средние показания по всем 40 датчикам, а датчики не идентичны.

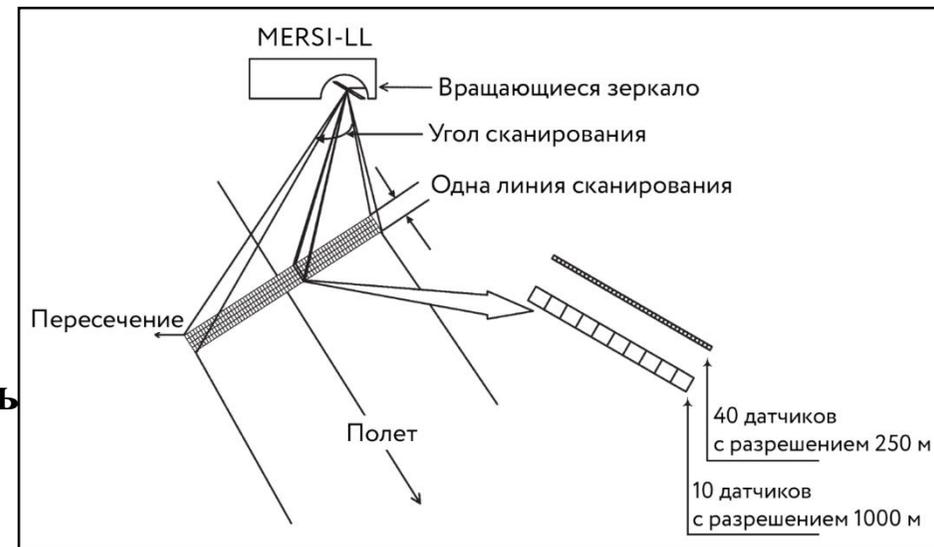


Схема сканирования Земли

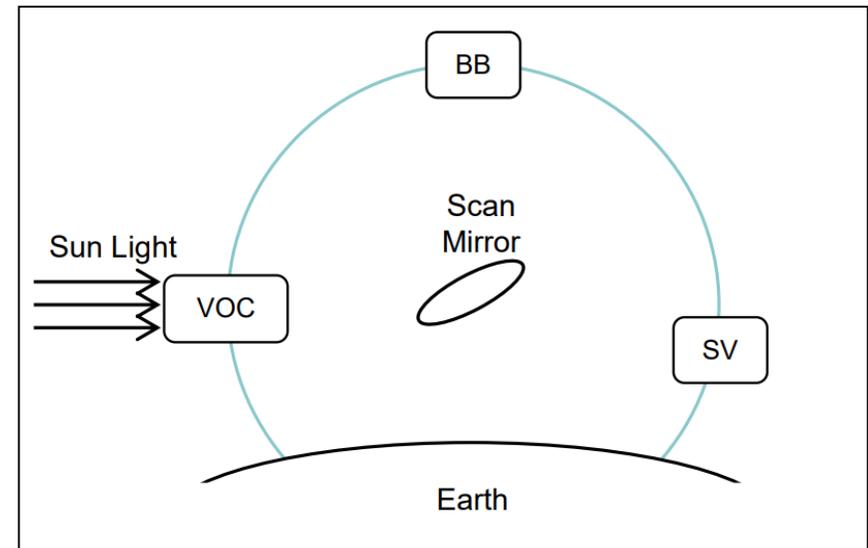
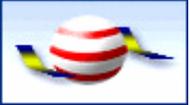


Схема сканирования мишеней. VOC, BB, SV – мишени (черные тела)

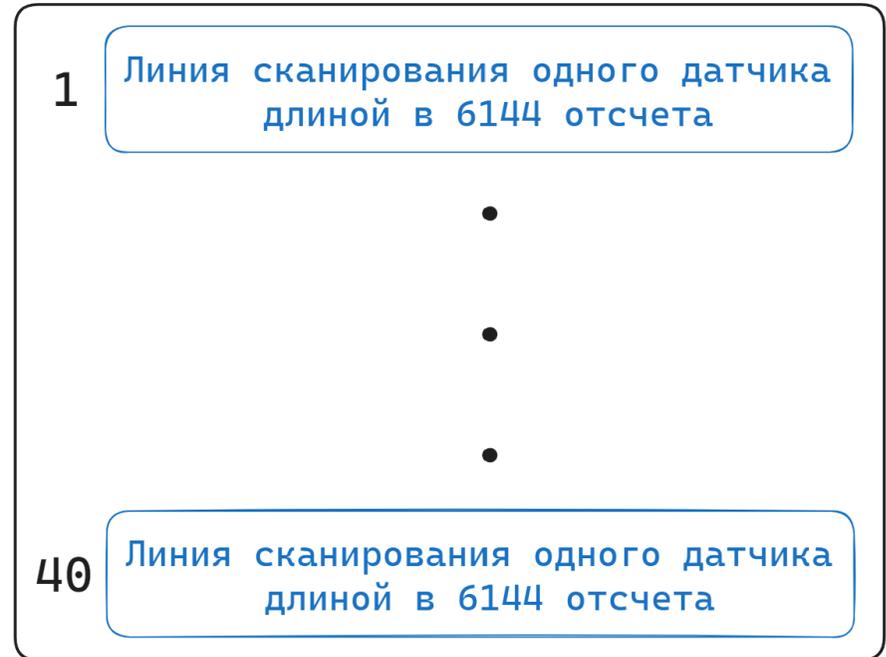


Структура файла уровня обработки L0

Описание сырых данных Китайская метеорологическая администрация не дает. Анализ структуры битового потока и деассемблирование предоставляемого ПО позволили узнать структуру и ключевые параметры телеметрии.



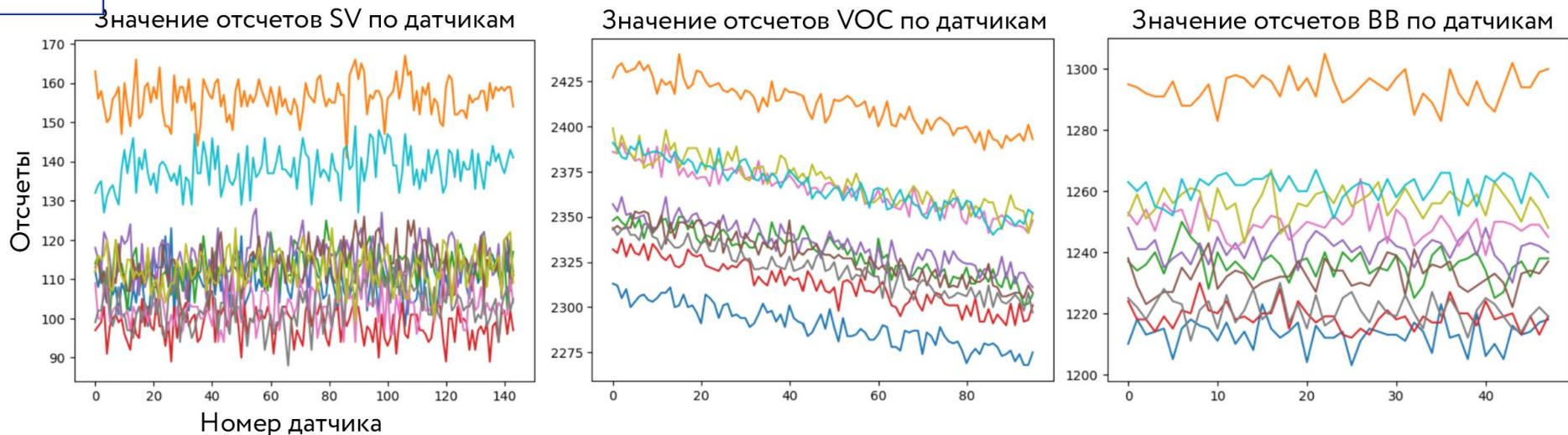
Структура транспортного блока



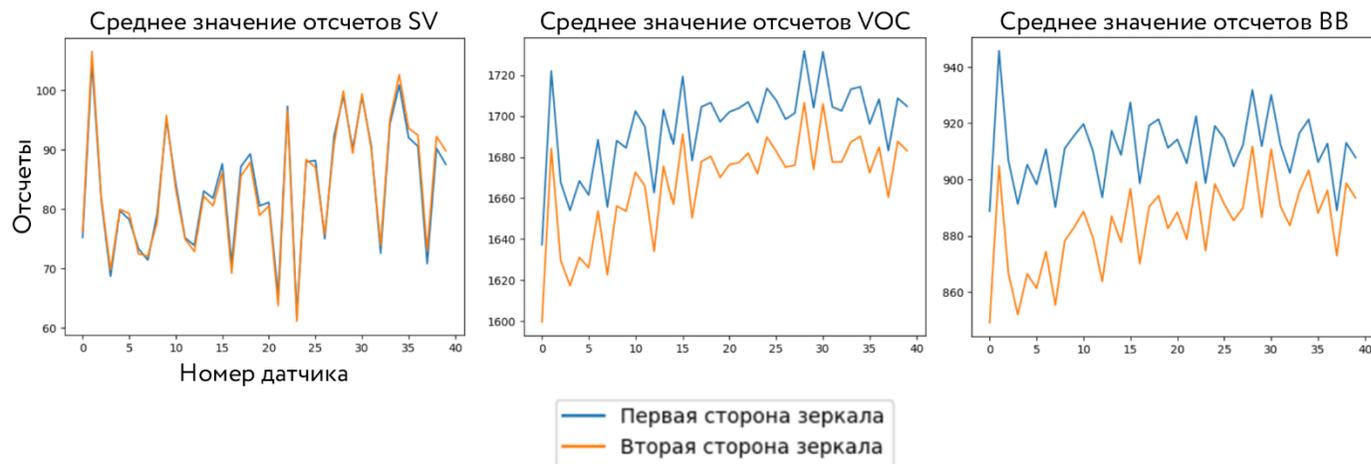
Структура блоков с данными
каналов 10.8 и 12.0 микрометров.
Слово – 1.5 байта.



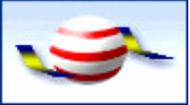
Показания датчиков на мишенях



**Показания отдельных датчиков канала 6. Должны быть совпадающие константы.
Размах шумов – не более 10 отсчетов.**



Усредненные показания 40-ка датчиков канала 6 для разных сторон зеркала



Особенности отсчетов датчиков

Особенности отсчетов датчиков на мишенях и поверхности Земли:

- 1. Показания датчиков на мишенях (длина строки на мишенях от 50 до 140 отсчетов) отличаются систематически.**
- 2. Систематические отличия зависят от типа мишени, стороны зеркала, канала, номера датчика.**

Наиболее вероятная причина, объясняющая эти отличия – поверхности сканирующего зеркала имеют разные коэффициенты отражения (не 100%), мишени и плоскость линии сканирования Земли не лежат в одной плоскости, датчика не «выровнены» датчиков друг относительно друга.

Методика коррекции отсчетов датчиков.

- 1. Выравниваем показания датчиков друг относительно друга (линейные зависимости).**
 - 2. Вводим поправки на коэффициенты отражения поверхностей сканирующего зеркала.**
- Ближе всего отсчеты на однородных участках Земли соответствовали отсчеты на мишени ВОС. Ее отсчеты и взяли за основу при выравнивании показаний датчиков.**
- Выравнивали относительно средних значений по всем датчикам конкретного канала.**



Модель корректировки расогласования датчиков

$$\begin{cases} SV_{mean,all} - (\alpha_{ij} \times SV_{mean,sensor,ij} + \beta_{ij}) = 0 \\ VOC_{mean,all} - (\alpha_{ij} \times VOC_{mean,sensor,ij} + \beta_{ij}) = 0 \end{cases}$$

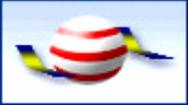
$SV_{mean,all}$ - Среднее значение сканирования SV по всем датчикам

$SV_{mean,sensor,ij}$ - Среднее значение сканирования SV по i -му датчику и j -й стороне зеркала

$VOC_{mean,all}$ - Среднее значение сканирования VOC по всем датчикам

$VOC_{mean,sensor,ij}$ - Среднее значение сканирования VOC по i -му датчику и j -й стороне зеркала

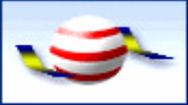
$$i \in [1; 40], \quad j \in [1; 2]$$



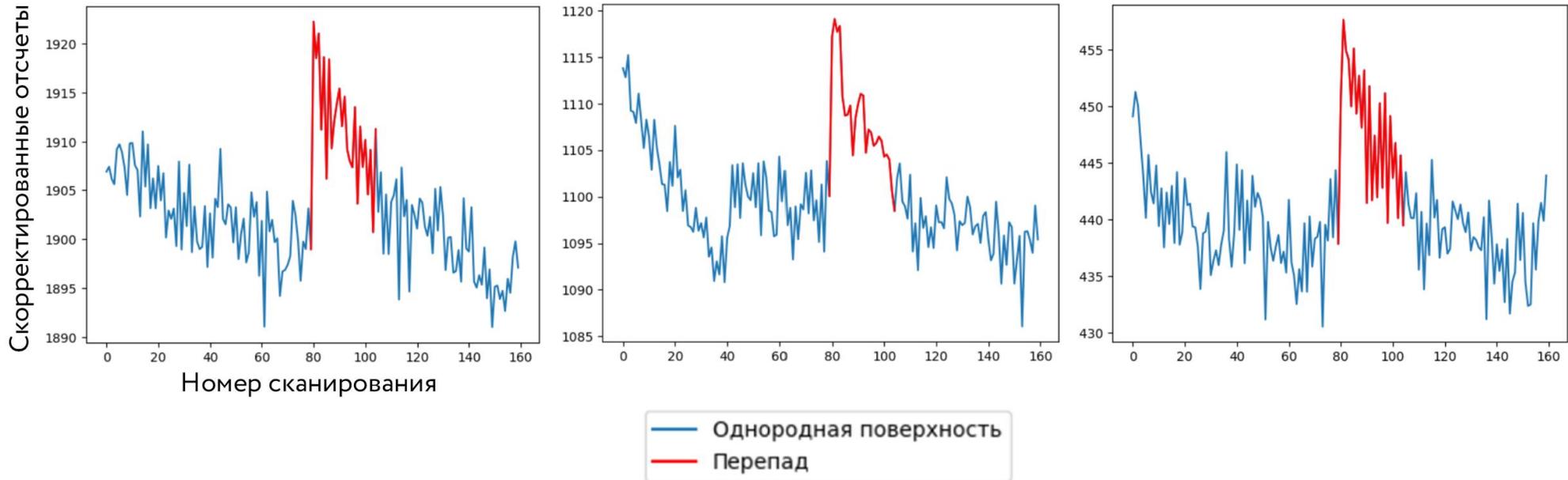
Выравненные значения датчиков MERSI-LL относительно друг друга



На второй стороне зеркала после выравнивания отсчеты на ВВ меняются слабо. По ней и будем калибровать, та как только на ВВ есть отсчеты термометров.



Неучтенные рассогласования

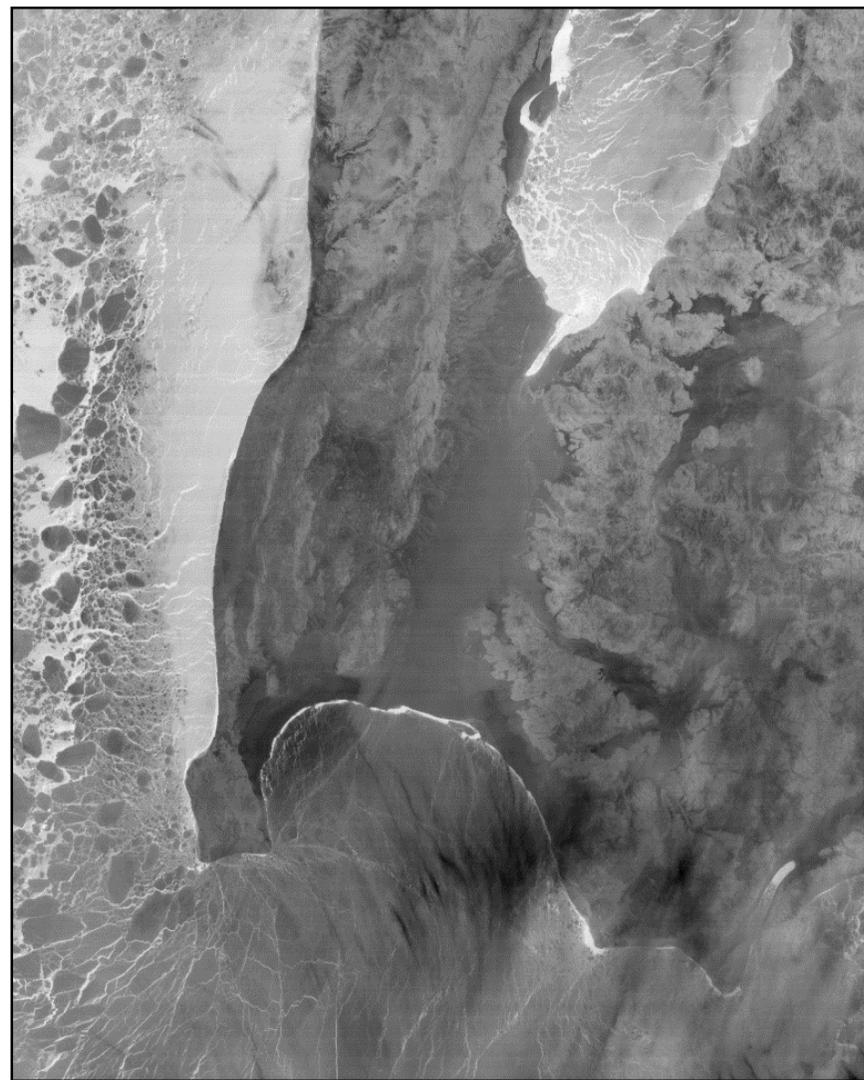
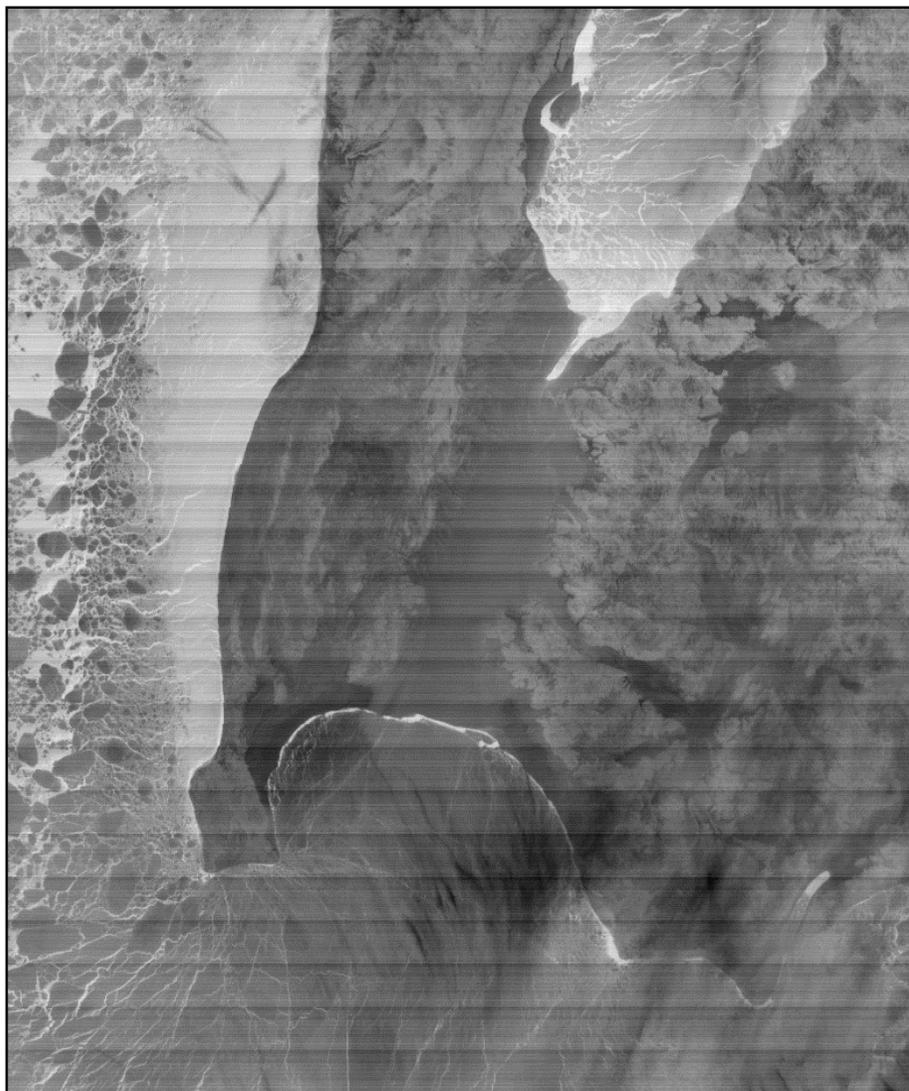


Отсчеты DN на однородных участках Земли и на ВОС не совсем соответствуют друг другу. Требуется дополнительная коррекция:

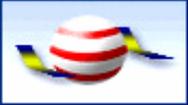
$$F(DN_{i1,corrected}) = \left(\frac{DN_{ij,corrected}}{100} \right) - \left(\frac{i}{2} \right) +$$
$$+ (3 \times \left(\left(-1 \times \left(\frac{DN_{ij,corrected}}{100} \right) > 10 \right) + \left(1 \times \left(\frac{DN_{ij,corrected}}{100} \right) < 10 \right) \right))$$



Результаты коррекции ИК-изображений MERSI-LL



**Полосатость и результат после «двухуровневой»
коррекции. Канал 10.8 мкм. Фрагмент**



Калибровка

Преобразование отсчетов в спектральную плотность излучения:

$$RAD = DN_{corrected} \times S \times \varepsilon + I$$

Из функции Планка получаем радиационную температуру:

$$T_e = \frac{hc \times \frac{10^6}{k\lambda}}{\ln\left(2hc^2 \times \frac{10^{24}}{RAD \times \lambda^5} + 1\right)}$$

T_e – радиационная температура

h – постоянная Планка

c – Скорость света

λ – длина волны спектрального канала

k – постоянная Больцмана

ε - поправка на «среднее» поглощение сканирующего зеркала

Аппроксимация радиационной температуры по функции спектральной чувствительности (посредством модерирования прохождения излучения через атмосферу с помощью модели MODTRAN)

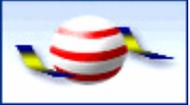
$$T_{bb} = T_e \times A + B$$

Для канала 10.8 мкм:

$$A = 0.9994, \quad B = -0.1453$$

Для канала 12.0 мкм:

$$A = 1.0011, \quad B = -0.8831$$



Формула расчета температуры поверхности океана

Используем японский подход:

$$T = b_0 + b_1 T_{bb-6} + b_2 (T_{bb-6} - T_{bb-7}) + b_3 (T_{bb-6} - T_{bb-7})(\sec(\theta) - 1) + b_4 (T_{bb-6} - T_{bb-7})(\sec(\theta) - 1) + b_5 (\sec(\theta) - 1) + b_6 (\sec(\theta) - 1)^2$$

T – Температура поверхности океана

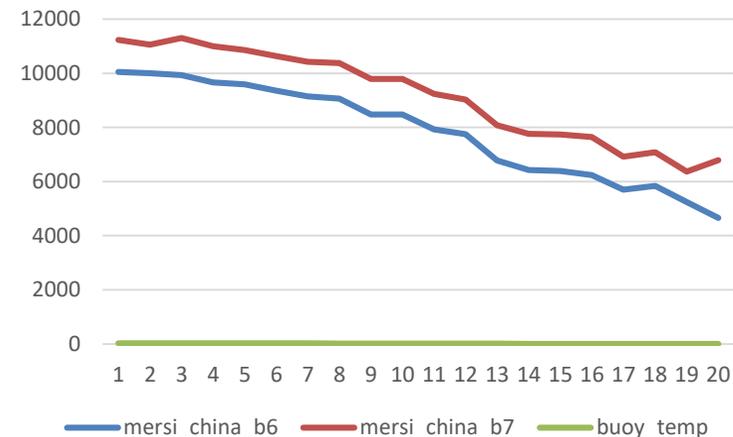
$b_0 - b_6$ – Калибровочные коэффициенты

T_{bb-6} – Радиационная температура для канала 10.8 микрометров

T_{bb-7} – Радиационная температура для канала 12.0 микрометров

Подбираемые оптимально неизвестные коэффициенты: $b_0 - b_6$ и ε .

Для решения задачи требуется несколько сотен измерений буйковых измерений. Пока не накопили, так как доступ к буйковым измерениям открывается с задержкой в несколько месяцев.



Пример зависимость отсчетов радиометра от температуры воды (буйковые измерения)

