

# Эксперимент применения продуктов MOD09CMA/MOD09CMG для атмосферной коррекции данных мультиспектральной съёмочной системы КА «Канопус-В»

*Стремов А.С.*

*Васильев А.И.*

*НЦОМЗ АО «Российские космические системы» (Москва, Россия)*

Двадцать вторая международная конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

# Актуальность атмосферной коррекции для создания информационных продуктов ДЗЗ

Атмосферная коррекция является важным этапом обработки данных ДЗЗ, который позволяет повысить точность анализа и интерпретации спутниковых изображений

Методы АК	Достоинства	Недостатки
Приближенные методы (DOS, COST, FFC, Histogram Matching)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Легкость применения</li><li>• Отсутствие необходимости в дополнительных данных</li><li>• Подходят для предварительной обработки данных</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Низкая точность</li><li>• Не учитывают вариации в составе и свойствах атмосферы по всему изображению</li><li>• Сильные предположения</li><li>• Игнорирование спектральных особенностей</li></ul>
Строгие методы (6S, MODTRAN)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Высокая точность</li><li>• Адаптация к различным условиям</li><li>• Гибкость в использовании</li><li>• Учет спектральных особенностей</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Высокие вычислительные затраты</li><li>• Необходимость в дополнительных данных</li><li>• Сложность использования</li></ul>

В исследовании был выбран строгий метод атмосферной коррекции на основе 6S.

Для атмосферной коррекции данных МСС КА «Канопус-В» необходимо знать параметры атмосферы на момент съемки

# Получение актуальных параметров атмосферы для коррекции данных МСС КА «Канопус-В»

При отсутствии данных о параметрах атмосферы, полученных непосредственно с космического аппарата, для корректировки данных возможно использование внешней информации о тех же параметрах на момент съёмки

Источник	Достоинства	Недостатки
Метеорологические модели (ECMWF)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Широкий спектр данных и моделей</li><li>• Высокое пространственное и временное разрешение</li><li>• Интеграция данных из различных источников</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Требовательность к вычислительным ресурсам</li><li>• Ограниченная доступность</li></ul>
Данные ДЗЗ (MODIS Terra)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Прямые спутниковые наблюдения</li><li>• Прямые измерения оптической толщины</li><li>• Высокая частота данных</li><li>• Бесплатный доступ</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ограниченное пространственное разрешение</li><li>• Зависимость от погодных условий</li><li>• Орбитальные ограничения – пропуски в данных</li></ul>

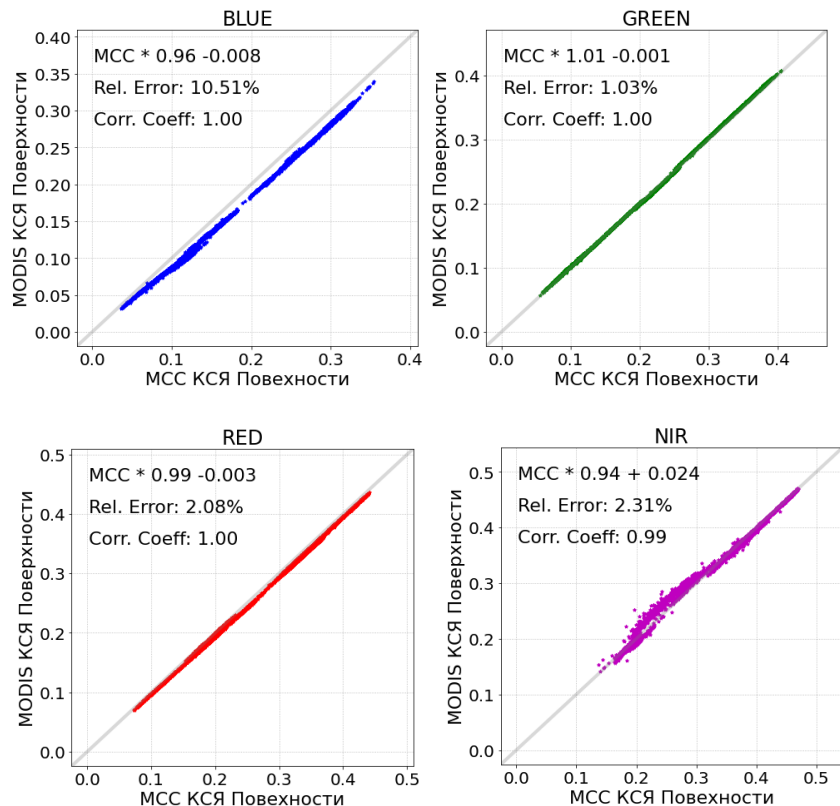
В данной работе в качестве внешнего источника информации о параметрах атмосферы были выбраны данные MODIS Terra. **MOD09CMA**, **MOD09CMG** - ежедневные глобальные покрытия с информацией о содержании аэрозолей, озона и водяного пара

Кроме того, MOD09CMG содержит ежедневные значения коэффициентов спектральной яркости поверхности, скорректированные с учетом атмосферных параметров, которые могут быть использованы в качестве эталона для сравнения с данными МСС КА «Канопус-В» после атмосферной коррекции

# Оценка возможности сопоставления измерений КСЯ

## МСС Канопус-В и MODIS Terra

Различие ФСЧ мультиспектральных каналов МСС/MODIS должно быть учтено при сопоставлении атмосферно скорректированных информационных продуктов



По 4600 измерениям RadCalNet проведено моделирование:

- 1) Рассчитаны ожидаемые значения КСЯ поверхности с учетом ФСЧ MODIS и МСС
- 2) Построены диаграммы рассеяния
- 3) Проведена статистическая оценка

Влияние различий ФСЧ МСС/MODIS на ожидаемые значения КСЯ минимально в **красном** и **зеленом** каналах.

Относительная погрешность 1% и 2% соответственно

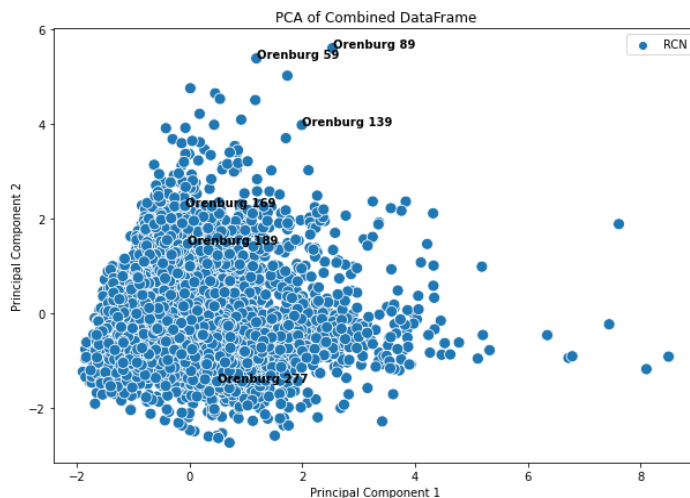
# Анализ параметров атмосферы на полигонах RCN

## Оценка соответствия параметрам атмосферы на территории РФ

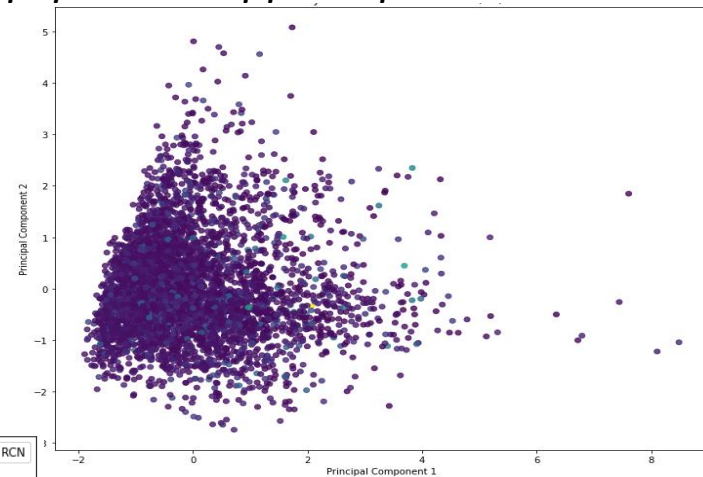
Полигоны RadCalNet - пустынные или полупустынные регионы, с минимальной растительностью и с высоким уровнем солнечного освещения в течение года

**Необходимо** определить границы значений параметров атмосферы для сравнения КСЯ поверхности, полученных МСС КА «Канопус-В» и MODIS Terra на территориях с отличными от полигонов RCN характеристиками и условиями в течение года

Дата съемки	День в году
28.02.2023	59
30.03.2023	89
19.05.2023	139
18.06.2023	169
8.07.2023	189
4.10.2023	277



Параметры атмосферы по MODIS Оренбургской области в пространстве двух главных компонент параметров атмосферы RCN



Проекция параметров атмосферы RCN в пространстве двух главных компонент

По данным MODIS проанализированы те же параметры WV, O<sub>3</sub>, AOD на примере территории Оренбургской области за разные даты

**Вывод:** Для съемок с июня по октябрь полученные параметры атмосферы соответствуют модельным данным RCN

# Общая схема процесса атмосферной коррекции данных МСС

с использованием данных MODIS

## Предварительная обработка данных МСС КА «Канопус-В»

Уточнение параметров абсолютной калибровки с применением данных RadCalNet

Определение углов визирования для каждой матрицы целевой аппаратуры

## Подготовка исходных данных для проведения атмосферной коррекции

Чтение метаданных для выбранной сцены МСС КА «Канопус-В»: Дата время съемки, координаты центра сцены, геометрия съемки

Проверка наличия параметров атмосферы на момент съемки корректируемой сцены по данным MODIS Terra (MOD09CMA, MOD09CMG): WV,O3,AOT

## Атмосферная коррекция

Расчет коэффициентов атмосферной коррекции с использованием программной реализации уравнения переноса излучения  $R_{\text{ubs}}$

Применение полученных параметров атмосферной коррекции к сцене МСС КА «Канопус-В»

## Постобработка, оценка точности

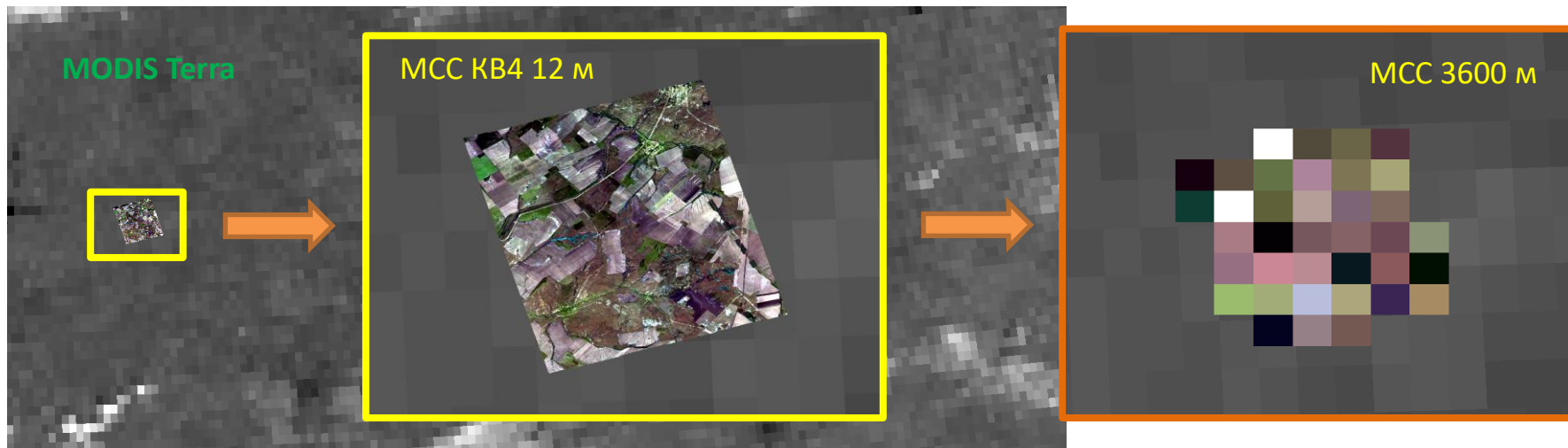
Создание информационных продуктов на основе скорректированных данных

Оценка точности результатов коррекции по эталонным данным (MODIS Terra)

# Атмосферная коррекция данных МСС по данным MODIS(СМА CMG)

## Данные МСС и MODIS

Для данных МСС от 26.09.2024 по параметрам атмосферы из СМА CMG была проведена атмосферная коррекция. Затем агрегированные до 3600 м данные МСС сопоставлены с данными КСЯ MODIS



Относительные погрешность КСЯ МСС и MODIS  
(центральный пиксель сцены)

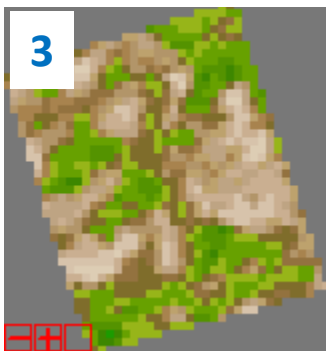
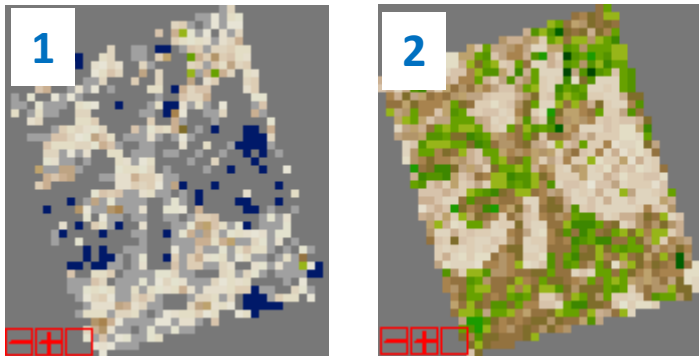
	Синий	Зеленый	Красный	БИК
MODIS SR	0.0326	0.0618	0.0655	0.1624
KV SR	0.0543	0.061815	0.0651	0.1320
$\delta$ , %	66.66	<b>0.0239</b>	<b>0.644</b>	18.7018
KV TOA Ref	0.137	0.115	0.094	0.144
$\delta$ , %	<b>320.97</b>	<b>86.25</b>	<b>43.48</b>	<b>11.42</b>

# Расчет NDVI после атмосферной коррекции данных МСС КА «Канопус-В»

## Оценка сопоставимости значений индекса с данными MODIS

Для оценки результатов применения параметров атмосферы по данным MODIS для проведения атмосферной коррекции данных МСС для сцены от 26.09.2024 был построен индекс NDVI для следующих условий:

- 1) Данные МСС СПЭЯ на ВГА. После уточнения абсолютной калибровки по RCN. (**MSS RCN**)
- 2) Данные МСС КСЯ. После уточнения абсолютной калибровки по RCN и атмосферной коррекции. (**MSS RCN ACOR**)
- 3) Данные MODIS КСЯ. После прохождения атмосферной коррекции. (**MODIS**)



Матрица попарных сравнений  
корней среднеквадратической ошибки (RMSE)

NDVI	MSS RCN	MSS RCN ACOR	MODIS
MSS RCN		0.343	0.272
MSS RCN ACOR	0.343		0.072
MODIS	0.272	0.072	



# Атмосферная коррекция данных МСС по данным МОДИС (СМА СМГ)

МСС и MODIS в период с августа по октябрь 2024

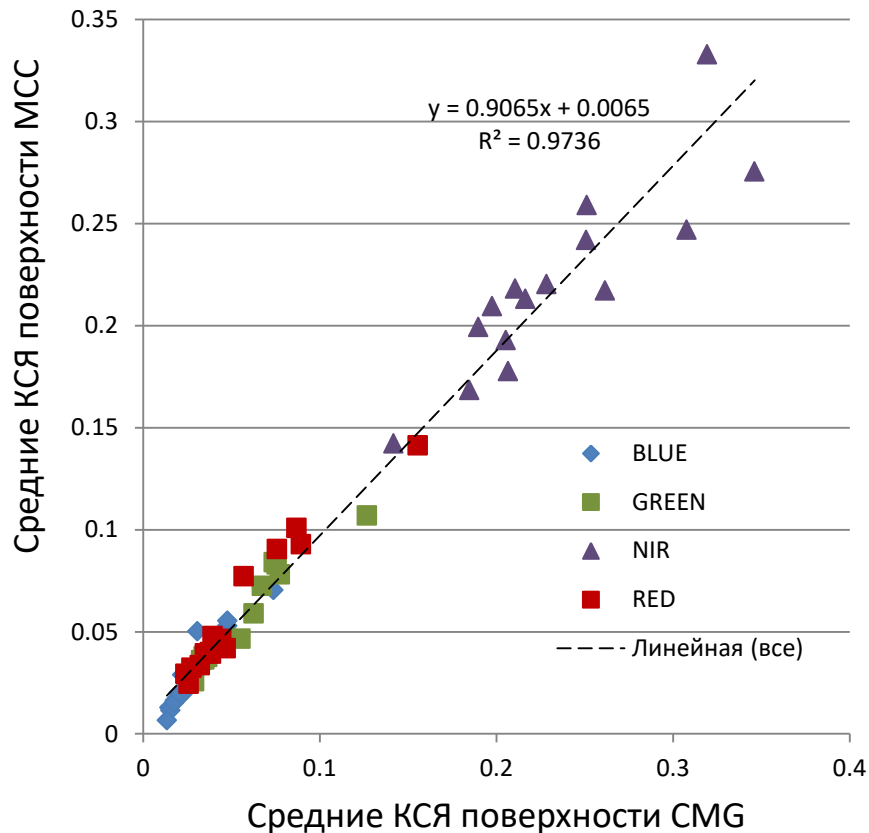


Диаграмма рассеяния по атмосферно скорректированным значениям КСЯ поверхности

Предложенная методика применена к 15 парам данных МСС КА «Канопус-В» и продуктов СМГ

Дата	Территория
02.08.2024	Костанайская область, Казахстан
24.08.2024	Саратовская область
06.09.2024	Волгоградская область
10.09.2024, 15.09.2024	Свердловская область
15.09.2024, 27.09.2024	Башкортостан
16.08.2024, 25.09.2024	Московская область
28.09.2024	Оренбургская область
19.08.2024	Татарстан
31.08.2024	Липецкая область

Среднеквадратическая ошибка расчетных значений КСЯ поверхности для всех спектральных каналов МСС КА «Канопус-В» **относительно** данных MOD09CMG составила - 12.73%

## Основные результаты

- Рассмотрен подход атмосферной коррекции данных МСС КА «Канопус-В» на основе строгой модели 6S, для которого в качестве исходных данных о состоянии атмосферы (водяного пара, озона и аэрозолей) предлагается использовать данные продукта MOD09CMA/MOD09CMG
- Для одиночного эксперимента атмосферной коррекции данных МСС КА «Канопус-В» получены результаты оценки точности:
  - относительная погрешность КСЯ поверхности (в сравнении с измерениями MODIS) для зеленого и красного каналов – менее 1%
  - среднеквадратическая ошибка значений NDVI (в сравнении с NDVI MODIS) снизилась после атмосферной коррекции в 4 раза
- По результатам обработки 15 снимков КА «Канопус-В» отмечается:
  - завышение значений КСЯ МСС КА «Канопус-В» относительно MOD09CMG (~ 10% от измеряемой величины КСЯ)
  - среднеквадратическая ошибка относительной погрешности значений КСЯ поверхности среди всех спектральных каналов МСС КА «Канопус-В» от данных MOD09CMG составило 12.73%