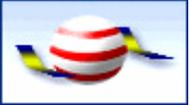


# **Сравнение вегетационных индексов растительности NDVI, рассчитанных по спутниковым и *in situ* измерениям**

***А.И. Алексанин<sup>1,2</sup>, А.Н. Тимофеев<sup>2</sup>***

***<sup>1</sup>Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток,  
Россия***

***<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия  
E-mail:[aleks@iacp.dvo.ru](mailto:aleks@iacp.dvo.ru)***



## **Постановка задачи**

**Цель – оценить точность расчета нормализованного вегетационного индекса NDVI по спутниковым данным алгоритмом пакета SeaDAS**

**Особенности алгоритма расчета NDVI:**

- Расчет по одиночному сеансу приема**
- Отсутствие коррекции на аэрозоль**

**Используемые данные и алгоритмы обработки:**

**Спутниковые данные – MODIS/AQUA**

**Подспутниковые наблюдения – станция AERONET La Crau (Франция) за 7 лет (все, что было в наличии)**

**Анализировались Систематические и случайные ошибки расчета NDVI и регрессионные зависимости:  $\varepsilon = NDVI_M - NDVI_S = a \cdot P + b$ , где  $P$  – параметр, от которого может зависеть точность,  $a$  и  $b$  – коэффициенты регрессии. В некоторых случаях коэффициент  $b$  не использовался.**

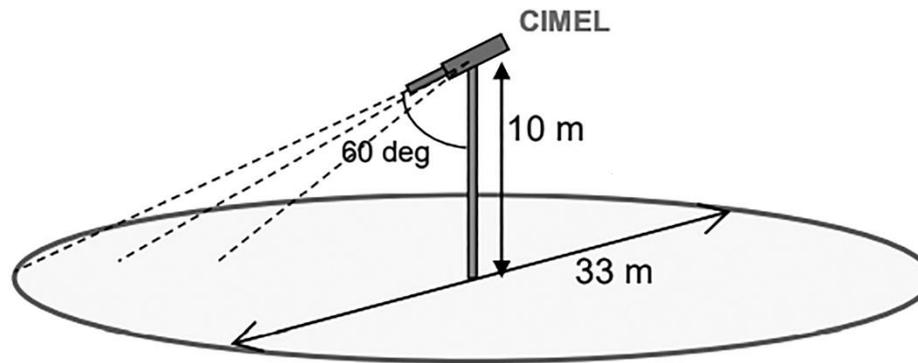
**Использовался сервис автоматической верификации спутниковых данных.**



## NDVI. In situ измерения

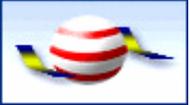
$$NDVI = \frac{\rho(NIR) - \rho(RED)}{\rho(NIR) + \rho(RED)}$$

где  $\rho(RED)$  коэффициент спектральной яркости в красной области спектра,  $\rho(NIR)$  в ближней инфракрасной области



*Станция радиометрической калибровки La Crau (слева) и схема ее работы (справа)*

**Расположение - вблизи побережья Средиземного моря. Летом сезон может быть засушливым.**



## **Автоматическая обработка данных**

**Данные MODIS/AQUA уровня L0 получены с сайта NASA Goddard Space Flight Center  
Обработаны до уровня L2 пакетом SeaDAS (OCSSW 7.5)**

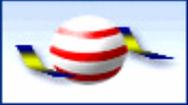
**Разница центральных волновых чисел с измерениями AERONET OC не превышает 10nm**

**Использовалось ближайшее по времени измерение станции (в интервале 2 часа)**

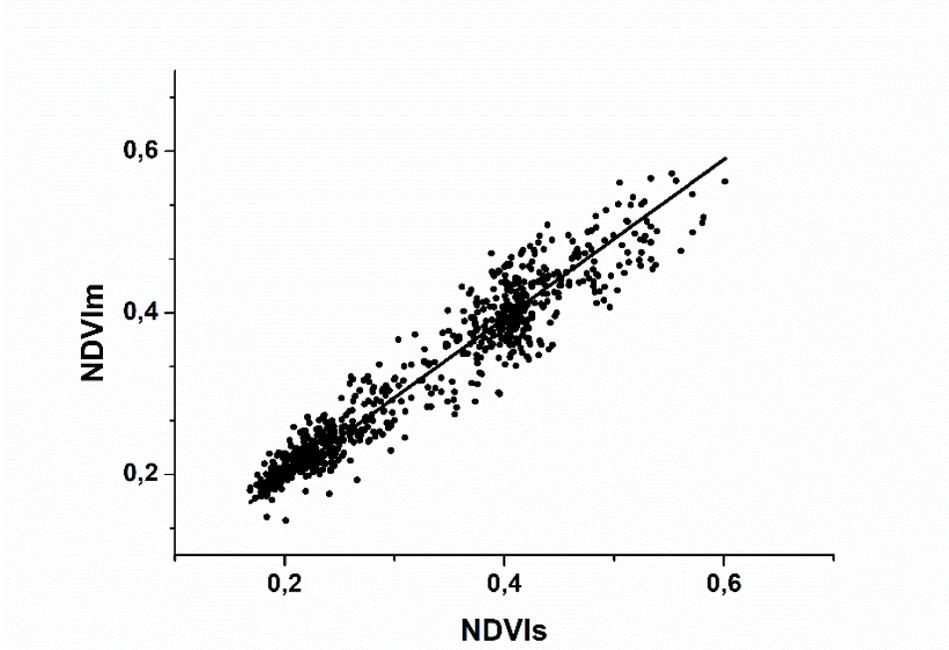
**Схема автоматической обработки:**

- Выбирались данные за каждый день, соответствующие времени пролета спутника.**
- Выбирались данные MODIS/AQUA, покрывающие территорию станции.**
- Проводилась автоматическая обработка данных пакетом SeaDAS**
- Находились пиксели, соответствующие положению станции, проверялись на наличие облачности и подпиксельной облачности. Отбирались данные, соответствующие безоблачной атмосфере.**
- Строились зависимости ошибок расчета NDVI от параметров, которые могут влиять на точность расчета.**

**Обработка данных на обычном компьютере с «бытовой» скоростью получения информации через Интернет занимала несколько дней (объем данных – около терабайта).**

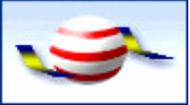


# Сравнение вегетационных индексов

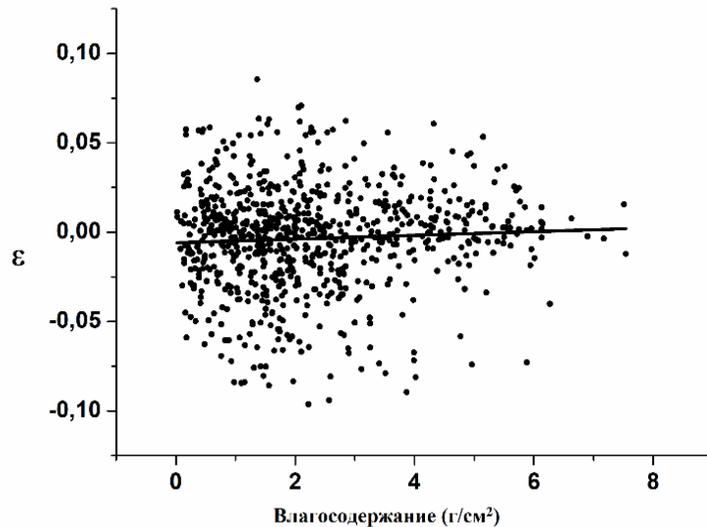


Сопоставление вегетационных индексов  $NDVI_M$  и  $NDVI_S$

Систематическое рассогласование вегетационного индекса  $NDVI_M$ , построенного по данным радиометра MODIS, небольшое и равно  $-0,005 \pm 0,001$ . Стандартное отклонение  $\sigma = 0,03$ . Наклон  $a = 0,977 \pm 0,003$



# Влияние влагосодержания атмосферы на точность расчета нормализованного вегетационного индекса



**Зависимость погрешности расчета вегетационного индекса  $NDVI_M$  от общего влагосодержания атмосферы.**

$$\varepsilon = NDVI_M - NDVI_S = a \cdot P + b$$

$a = 0,001 \pm 0,0007$ ,  $b = -0,006 \pm 0,02$ . Нулевые значения регрессии лежат в области 3 г/см<sup>2</sup>.

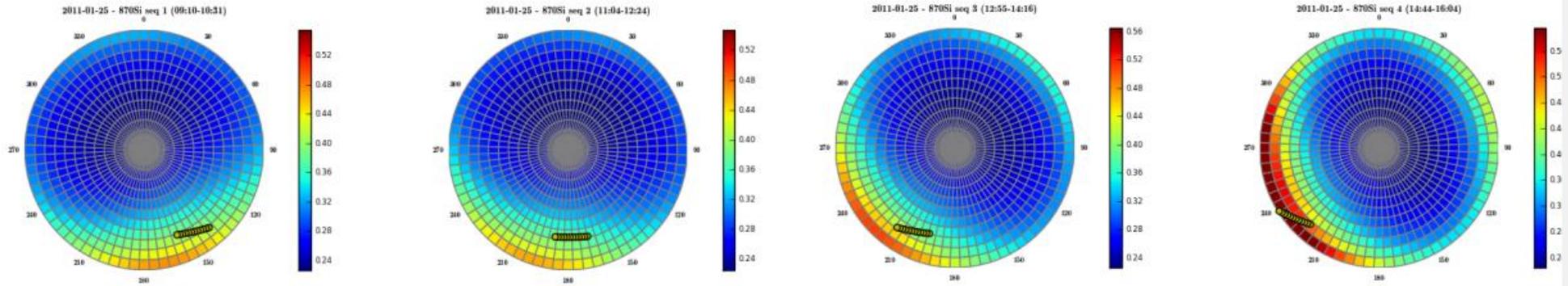
**Максимальные отклонения от средней погрешности достигались на краях диапазона влажности (от 0 до 8 г/см<sup>2</sup>) и не превышали стандартное отклонение  $\sigma = 0.03$ . Аналогичный результат и при использовании параметра АОТ. Хотя моделирование показывает, что ошибка может достигать величин 0.1-0.2 (Holben, 1986; Xie et al., 2010).**

*Holben B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data // International Journal of Remote Sensing. 1986. VOL. 7, No. 2. P. 1417-1434.*

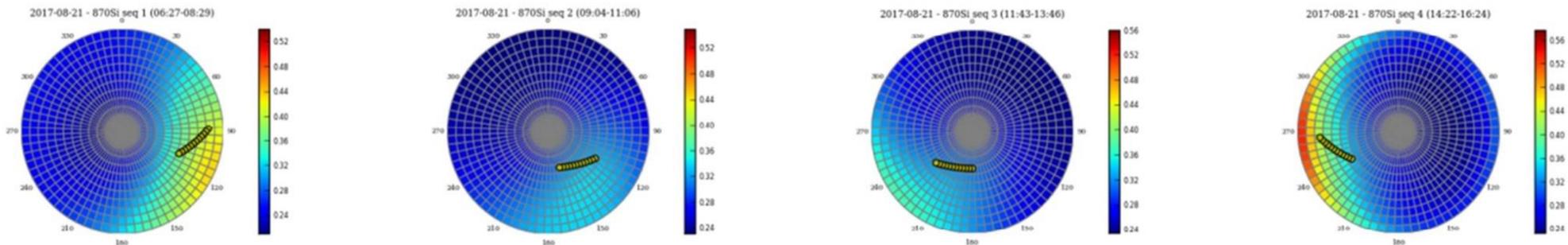
*Xie Y., Zhao X., Li L., Wang H. Calculating NDVI for Landsat7-ETM data after atmospheric correction using 6S model: A case study in Zhangye city, China. 18th International Conference on Geoinformatics. 2010, P. 1-4.*



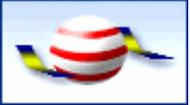
# Влияние азимутальных углов. brdf-функции канала 870 нм



## brdf-функции в январе в зависимости от времени суток, 870 нм.



## brdf-функции в августе в зависимости от времени суток, 870 нм.



## Влияние азимутальных углов

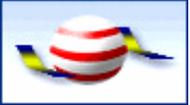
Разницы азимутальных углов ( $\Delta\psi$ ) двух направлений: спутник-зондируемая площадка и солнце-зондируемая площадка.

Величины  $\Delta\psi$  лежали в двух диапазонах  $20-60^\circ$  и  $100-140^\circ$

Для первого диапазона средняя величина погрешности  $NDVI_M$  была  $-0,014 \pm 0,0015$ , а для второго  $+0,0019 \pm 0,0016$

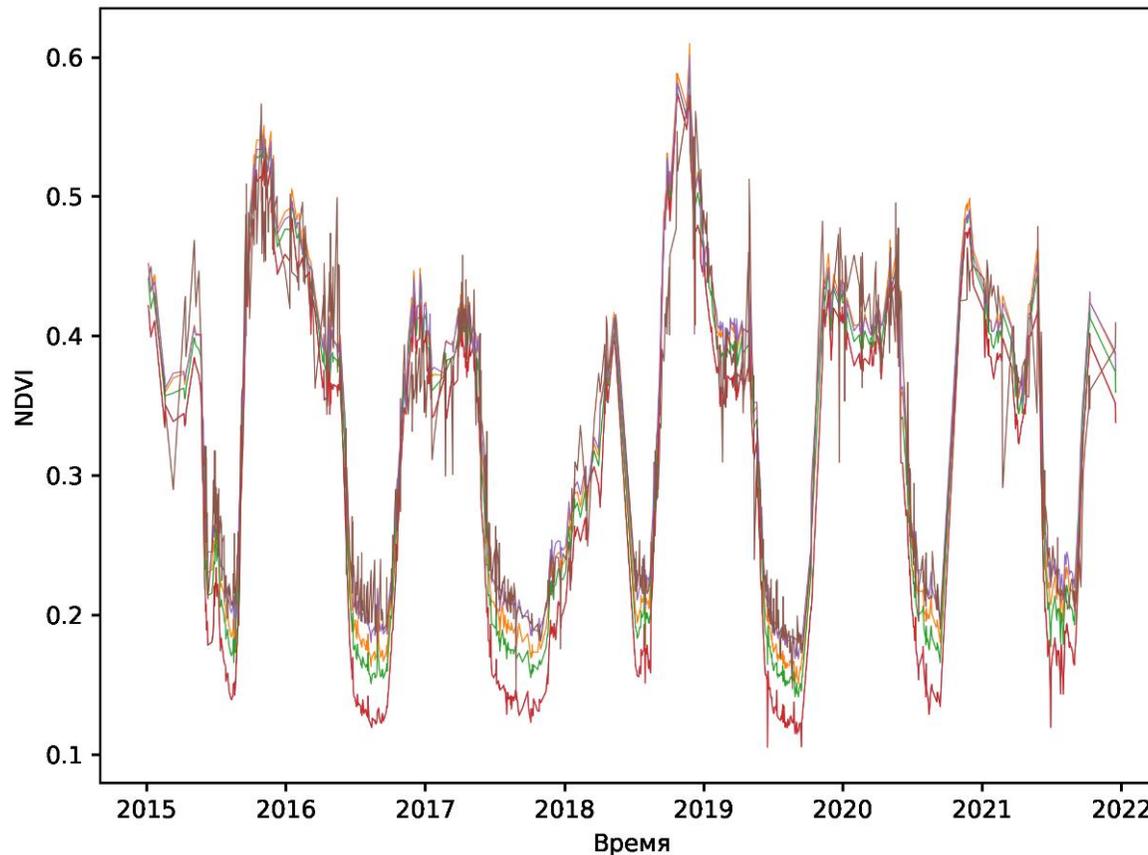
## Влияния зенитного угла солнца

Коэффициенты линейной регрессии (2) равны  $a = -0,0005 \pm 0,0002$ ,  $b = 0,02 \pm 0,003$  при коэффициенте детерминации  $R^2 = 0,08$ . Нулевое значение регрессии приходится на угол  $\sim 40^\circ$ . Систематическая погрешность при росте зенитного угла от  $20^\circ$  до  $70^\circ$  изменяется от величины  $0,01$  до  $-0,015$ . Это не превышает стандартное отклонение  $\sigma = 0,03$ , полученное при расчете  $NDVI_M$ .



# Влияние несоответствия спектральных каналов различных спутников

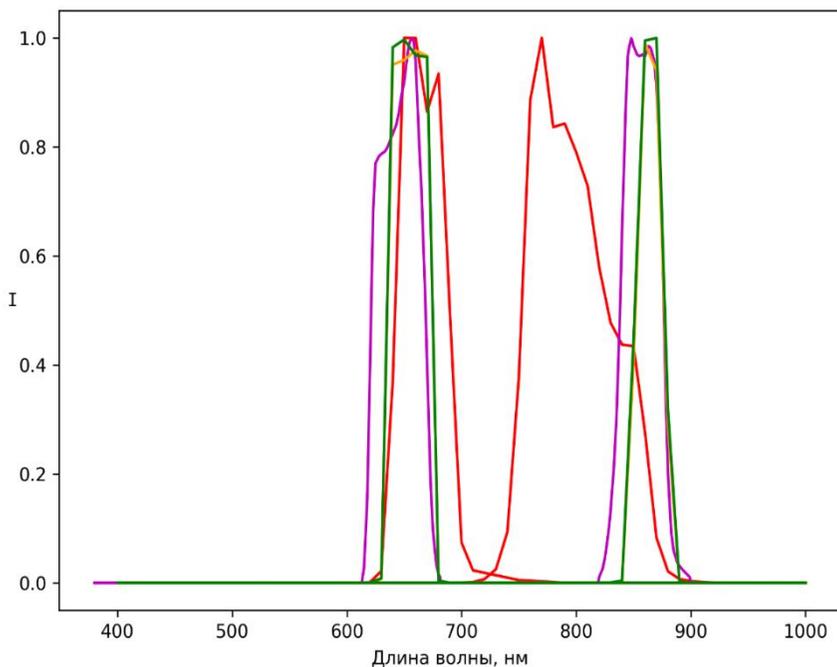
Для задачи оценки площади листвы (С. Ф. Jordan, 1969) использовали в расчетах узкие спектральные каналы с центральными волновыми числами 0.675 мкм и 0.800 мкм



Изменчивость модельных индексов  $NDVI_S$  радиометров MODIS/AQUA (фиолетовый), Landsat-8/OLI-1 (оранжевый), Landsat-9/OLI-2 (зеленый), Канопус-В/МСС (красный), а также данные спутниковых измерений  $NDVI_M$  (коричневый).



# Функции спектральной чувствительности



Параметры	Радиометры и их центральные волновые числа			
	MODIS/AQUA RED –0,645 мкм, NIR –0.860 мкм	Landsat-8/OLI-1 RED –0.660 мкм, NIR –0.870 мкм	Landsat-9/OLI-2 RED –0.660 мкм, NIR – 0.840 мкм	Канопус- В/МСС RED – 0.675 мкм, NIR – 0.800 мкм
Рассогласование	0,043±0,00067	0,036±0.0004	0,024±0.0003	0
Изменчивость NDVI	0,107	0,115	0,117	0,124

**Различия величин вегетационных индексов, обусловленные несоответствием спектральных каналов**

**Функции спектральной чувствительности используемых для расчета NDVI каналов радиометров MODIS/AQUA (фиолетовый), Landsat-8/OLI-1 (оранжевый), Landsat-9/OLI-2 (зеленый), Канопус-В/МСС (красный).**



## **Выводы**

- **Расчеты показали близость спутниковых и полигонных измерений: систематическое рассогласование  $-0,005$ ; стандартное отклонение  $\sigma = 0,03$ .**
- **Влияние влагосодержания атмосферы и аэрозольной оптической толщины оказалось несущественным - меньше стандартного отклонения  $\sigma$ . Влагосодержание не превышало  $8 \text{ г/см}^2$ .**
- **Влияние азимутальных углов съемки и солнца, а также зенитного угла солнца оказалось несущественным.**
- **Существенным оказалось влияние центральных волновых чисел каналов, используемых при расчете NDVI. Вегетационные индексы вводились для задачи оценки площади листвы (С. Ф. Jordan, 1969). В расчетах использовались спектральные каналы  $0.675 \text{ мкм}$  (RED) и  $0.800 \text{ мкм}$  (NIR). В частности, для решения данной задачи наилучшими спектральными характеристиками обладают спутники Канопус-В.**

