

Разработка 250м MODIS LAI Продукта для Мониторинга Сельскохозяйственных Территорий России

Н.В. Шабанов, С.А. Барталёв и Д.Е. Плотников

СПД33-2016
Москва, ИКИ РАН
17 ноября 2016 г.

Разработка 250м MODIS LAI продукта

Цель

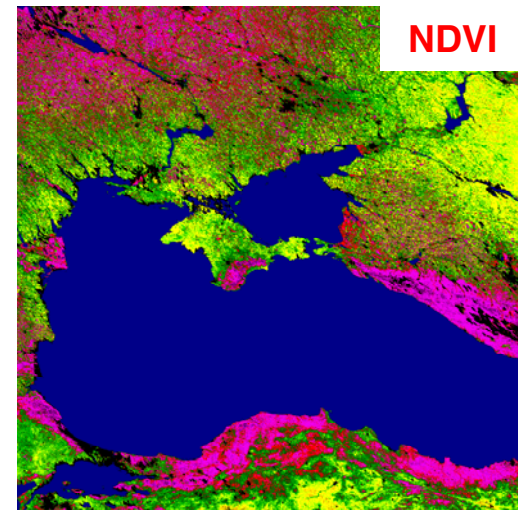
- создать LAI продукт на разрешении 250-м для поддержки текущих проектов ИКИ по мониторингу продуктивности сельскохозяйственных территорий России и Европы.

LAI (Leaf Area Index)- индекс листовой поверхности, площадь поверхности листа на единицу площади земной поверхности. В отличие от вегетационных индексов (NDVI) являющихся радиометрическими величинами, представляет собой биофизический параметр растительного покрова.

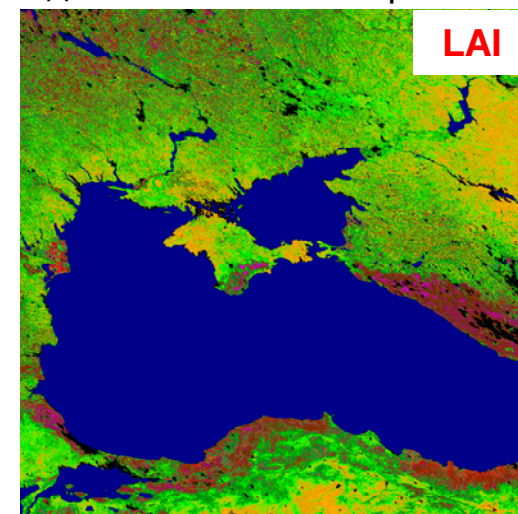
Методы

- Операционный NASA MODIS LAI алгоритм для вычисления суточных LAI на разрешении 1 км был взят за основу. Вычисление LAI основано на использовании стохастического уравнения переноса.
- Последующая обработка (композитинг и интерполяция) взята из текущей операционной обработки вегетационных индексов в ИКИ.

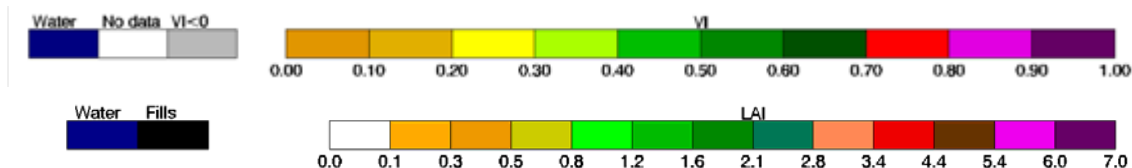
Эмпирический подход- вегетационные индексы



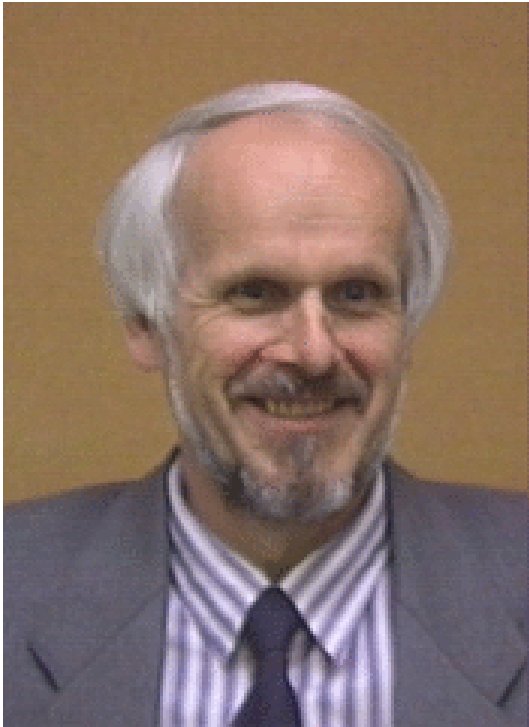
Физический подход- индекс листовой поверхности



7-дневные композиты для 30 Июня- 6 Августа 2014 г.

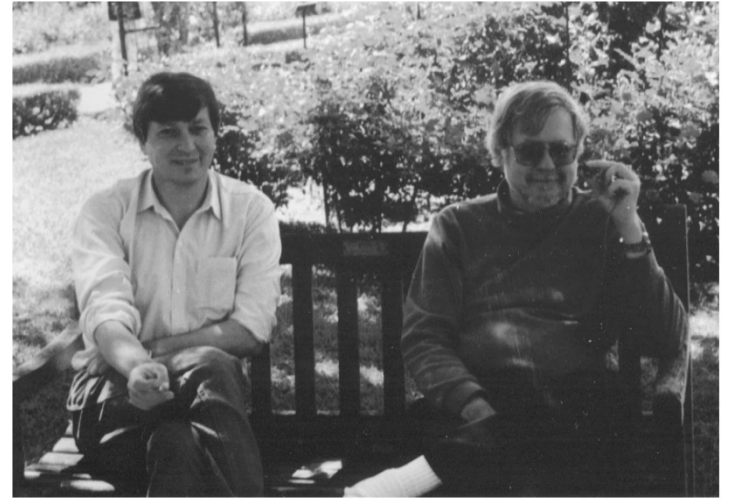


Стохастическое уравнение переноса- историческая справка



Разорванная облачность:

- Вайникко, Г., Уравнение переноса для средней интенсивности излучения в разорванной облачности. *Труды МГК СССР, Метеорологические исследования*, 21, стр. 28–37, 1973.
- Titov, G., Statistical description of radiation transfer in clouds, *J. Atmos. Sci.*, 47, p.29, 1990.
- Pomraning, G.C., Linear kinetic theory & particle transport in stochastic mixtures. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1991.



Неоднородный растительный покров:

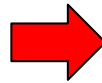
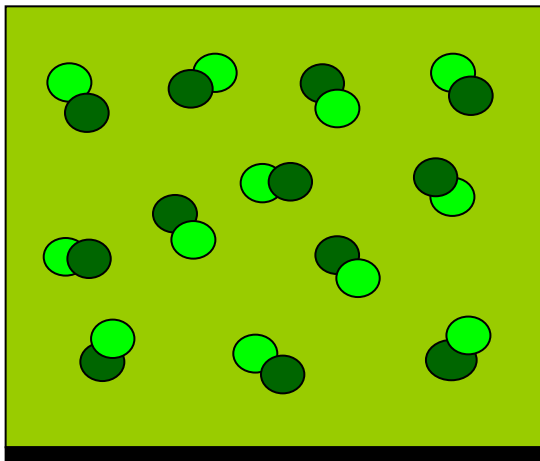
- Shabanov N.V., Knyazikhin Y, Baret F, Myneni RB., Stochastic modeling of radiation regime in discontinuous vegetation canopies. *Remote Sensing of Environment*, 74(1), pp. 125-144, 2000.
- Huang D., Knyazikhin Y., Yang W., Wang W., Privette J., Deering D., Shabanov N., Myneni R.B., Stochastic transport theory for investigating the three-dimensional canopy structure from space measurements. *Remote Sensing of Environment*, 112(1), pp. 35-50, 2008.

Стохастическое уравнение переноса для растительного покрова

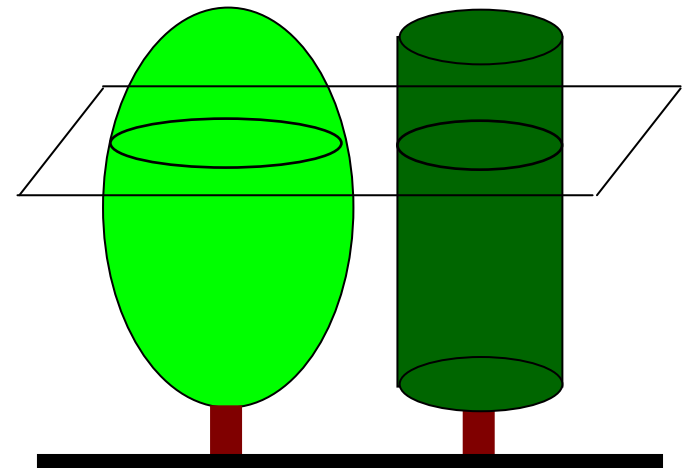
$$\vec{\Omega} \cdot \nabla I(\vec{r}, \vec{\Omega}) + \chi(\vec{r}) \cdot \sigma(\vec{\Omega}) \cdot I(\vec{r}, \vec{\Omega}) = \chi(\vec{r}) \int_{4\pi} \sigma_S(\vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) \cdot I(\vec{r}, \vec{\Omega}') d\vec{\Omega}'$$

- 1-D уравнение переноса компактно, но применимо к сплошной среде, в то время как 3-D уравнение реалистично, но требует недоступного на практике количества параметров.
- Стохастическое уравнение переноса- это подход при котором 3D уравнение переноса усредняется по горизонтальной плоскости. Уравнение численно компактно как 1D, но сохраняет 3D эффекты как 3D уравнение переноса.
- Решение стохастического уравнения- осреднённое по пикселу излучение- непосредственно сопоставимо со спутниковыми каналными данными.

1D Сплошная среда

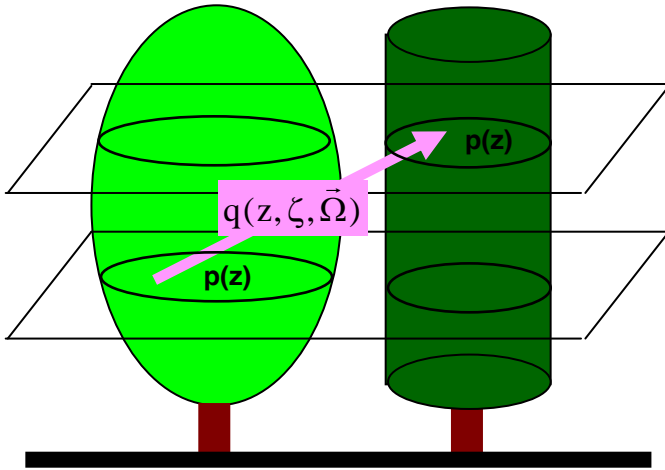


3D Неоднородная среда

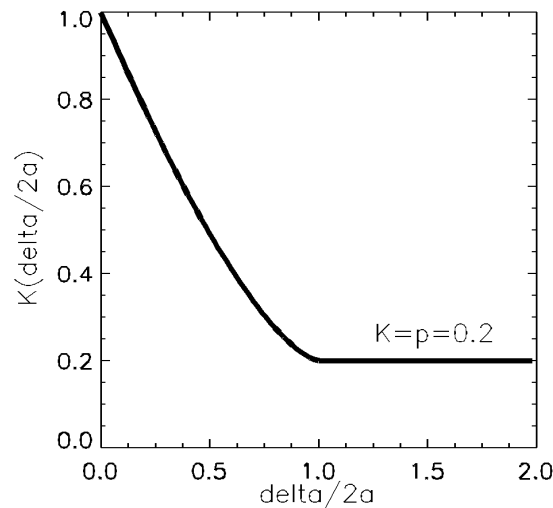


Стохастические моменты неоднородной растительной среды

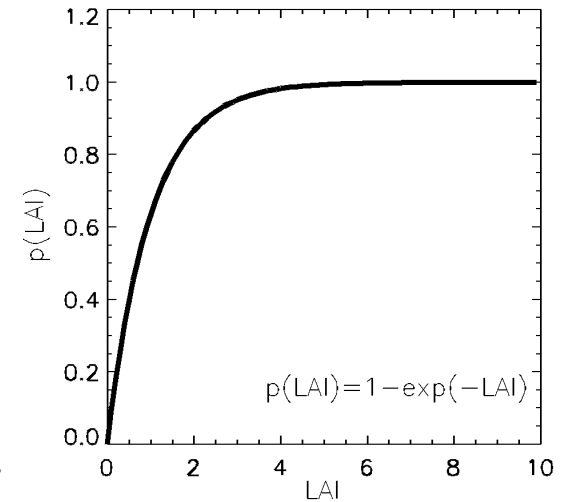
3D Неоднородная среда



q- парная корреляционная функция фитоэлементов



p- вероятность нахождения фитоэлементов



- В рамках стохастической геометрии разработана аналитическая модель растительной среды. Растительный покров моделируется геометрическими фигурами (эллипс, цилиндр) расположенных в соответствии с Пуассоновским процессом. Неоднородности растительного покрова описывается первым и вторым стохастическим моментами среды: $p()$ -вероятности нахождения растительных элементов на горизонтальной плоскости и $q()$ - корреляции фитоэлементов.
- В соответствии с принципами архитектоники растительного покрова для проективного покрытия выбрана модель зависимости $p()$ от LAI.

Этапы вычисления LAI продукта

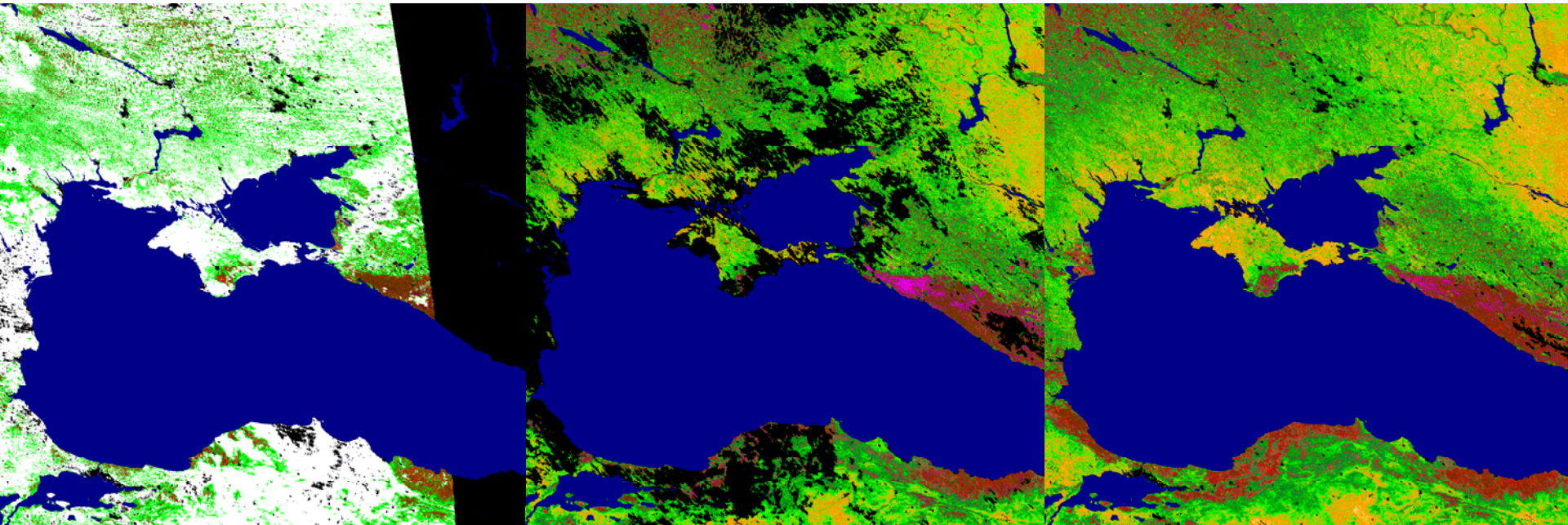
1) Расчет суточных
LAI
(день 167, сеанс 1)



2) Композитинг
(дни 167-174)



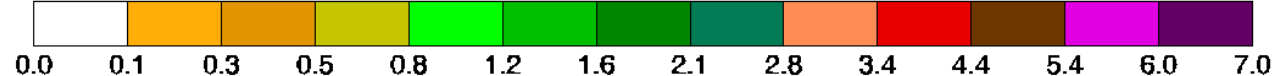
3) Интерполяция
(дни 167-174)



Water Fills



LAI

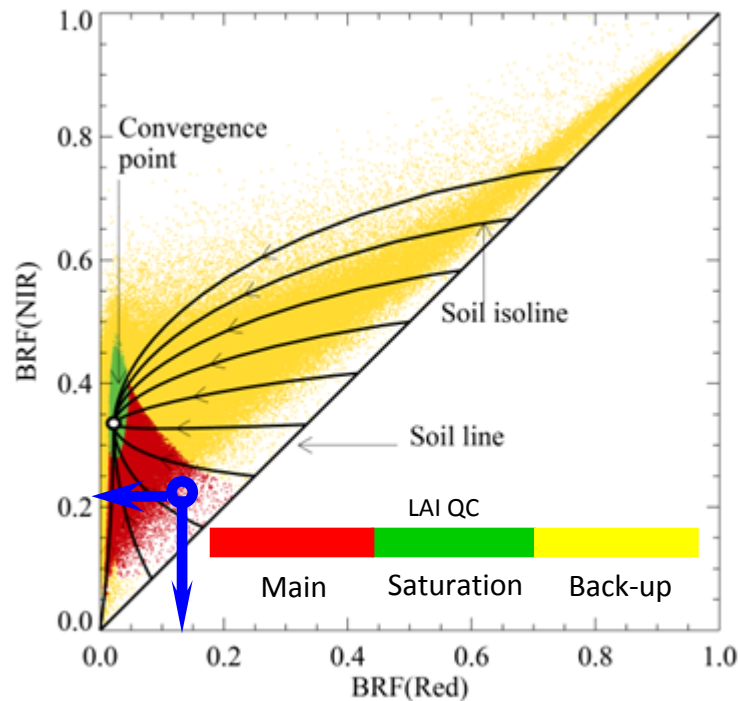


данные за июнь 16-23, 2014 г. (дни 167-174)

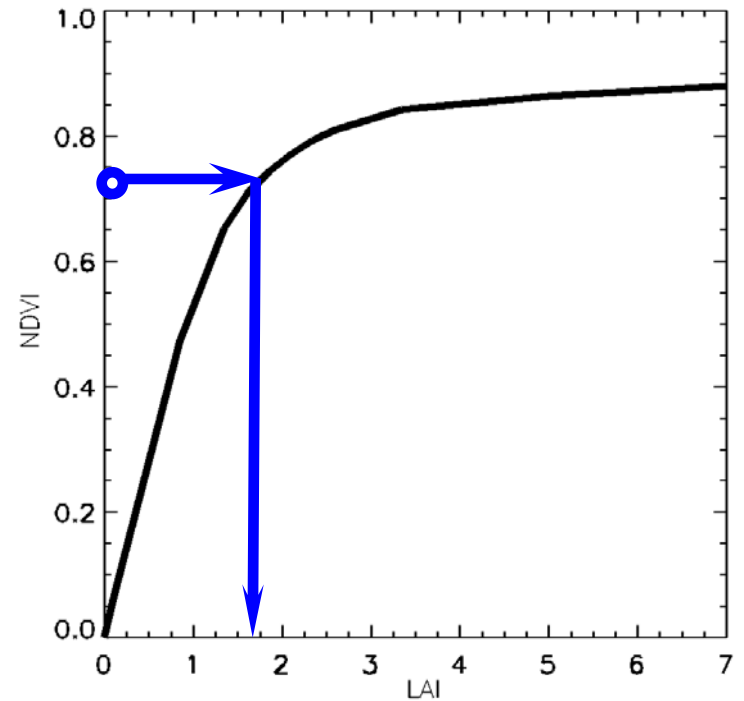
- В суточных данных LAI рассчитывается для каждого пиксела вне зависимости от состояния облачности.
- Композитинг выбирает наименее зашумленные атмосферой данные за период композитинга (7 дней).
- Временная интерполяция сглаживает композитные значения и заполняет дыры при наличии достаточного количества данных за счет соседних композитов.

Алгоритм вычисления суточных LAI

Основной алгоритм



Запасной алгоритм



- **Основной алгоритм:** Используя стохастическое уравнение переноса рассчитываются опорные таблицы (LUTs) с Коэффициентом Спектральной Яркости (КСЯ) в зависимости от параметров (тип растительного покрова, LAI, оптические свойства листвы, коэффициент отражения почвы, стохастические моменты неоднородности растительного покрова и геометрия). Модельный КСЯ сравнивается с MODIS КСЯ в красном и БИК каналах. При соответствии в пределах погрешности, соответствующее LAI выбирается из модельных данных.
- **Запасной алгоритм:** Если основной алгоритм не дает решения, запасной алгоритм вычисляет LAI используя эмпирические кривые (LAI-NDVI). Такие данные обладают низкой точностью и основаны на КСЯ низкой точности (рассеяние атмосферой, облачность).

Композитные схемы и интерполяция

Композитные схемы-

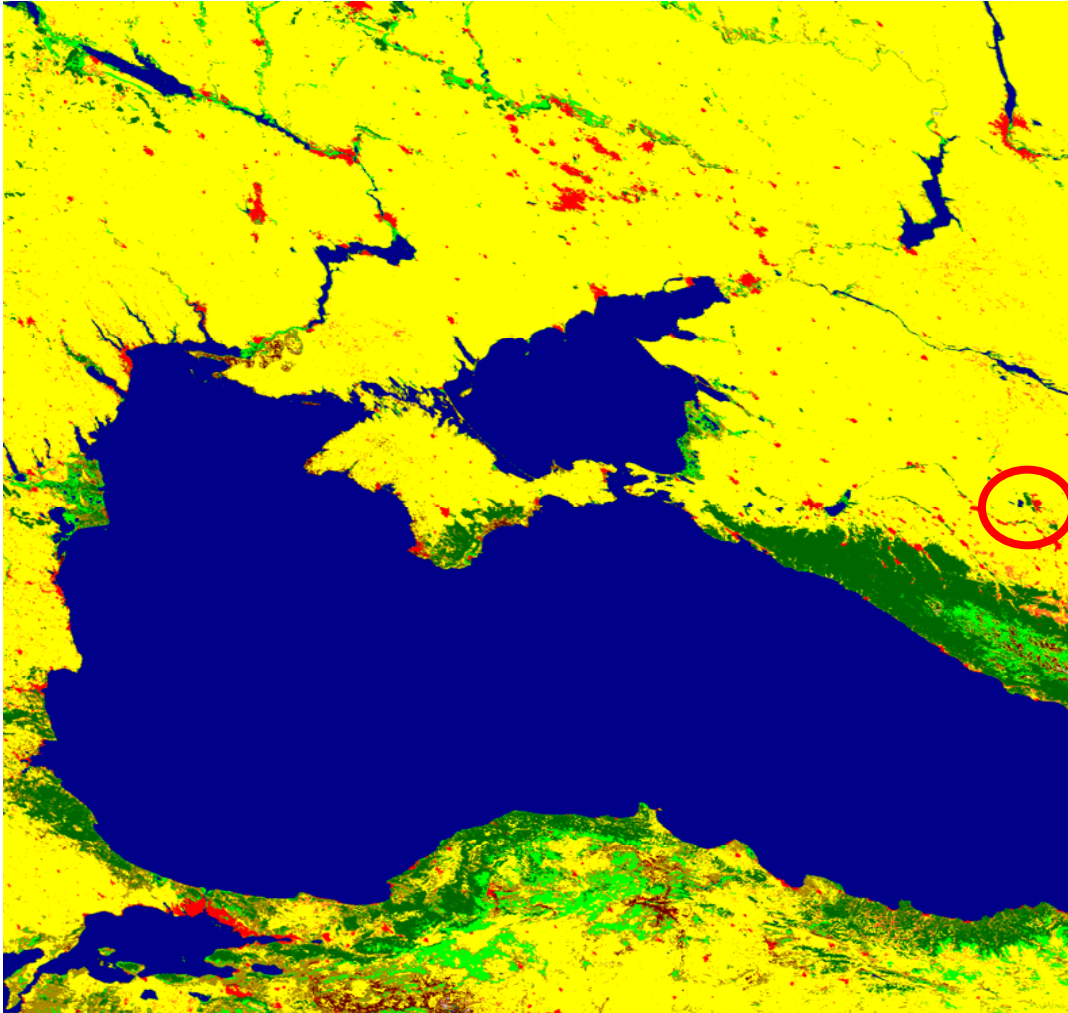
- Цель композитинга: путем комбинирования суточных данных за композитный интервал (7 дней) выбрать наименее зашумленное атмосферой значение.
- Схема NASA для оригинального LAI продукта (MOD15A2): выборка данных лучшего качества (основной алгоритм), из оставшегося подмножества выбирается значение с max LAI. Облачная маска не используется в схеме.
- Схема ИКИ: данные фильтруются маской облаков, из оставшегося подмножества строится статистика и выбирается значение LAI, наиболее близкое к среднему.
- Комбинирование MODIS Aqua и Terra данных: оба источника данных считаются равнозначными. При комбинировании данных схемы NASA и ИКИ получают на вход в 2 раза больше данных.

Интерполяция-

- Цель интерполяции: после композитинга LAI подвержен эффекту остаточной облачности и неточности атмосферной коррекции. Путем интерполяции соседних данных достигается сглаживание сезонального профиля.
- Интерполяционная схема ИКИ: выбираются 5 соседних композитов, средняя точка получается путем квадратурной аппроксимации.

Пространственная область тестирования 250m LAI продукта

Карта растительного покрова (MOD12Q1)



MODIS тайл h20v04 (4800x4800 пикс), покрывает с/х территории юга РФ (Краснодарский и Ставропольский края и др).

(45.182292⁰ с.ш., 42.142218⁰ в.д)
Валидационные данные- наземные измерения LAI на 9 полях СНИИСХ озимой пшеницы трансектным методом с помощью DHP технологии в течении 2014 г.

Water No data



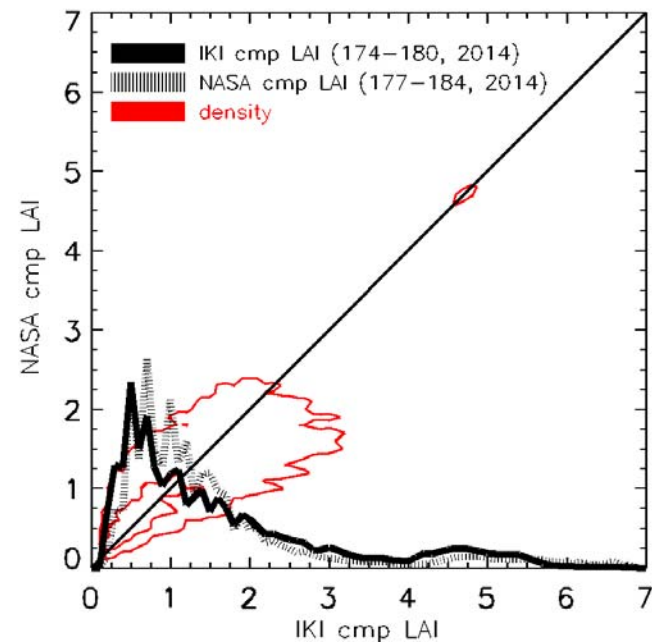
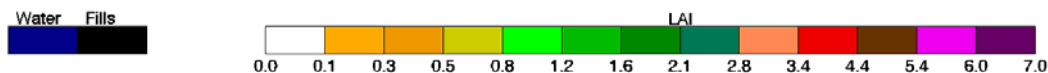
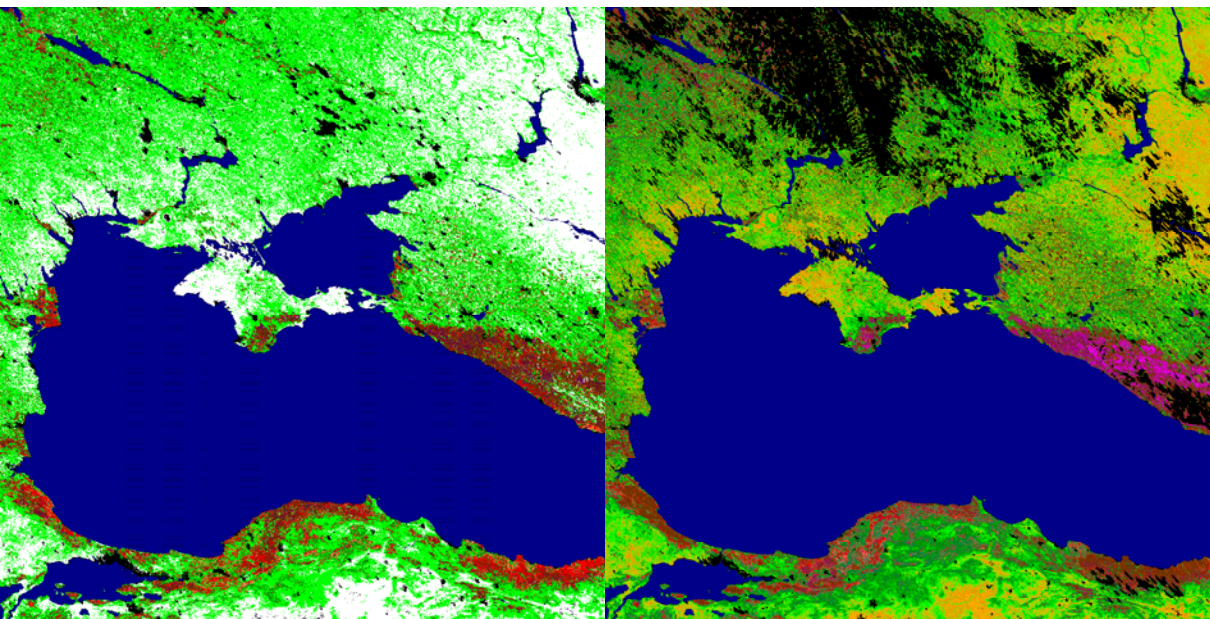
BIOME



Сравнение ИКИ и NASA композитного LAI продукта

1 км 8-дний NASA LAI продукт
дни 177-184

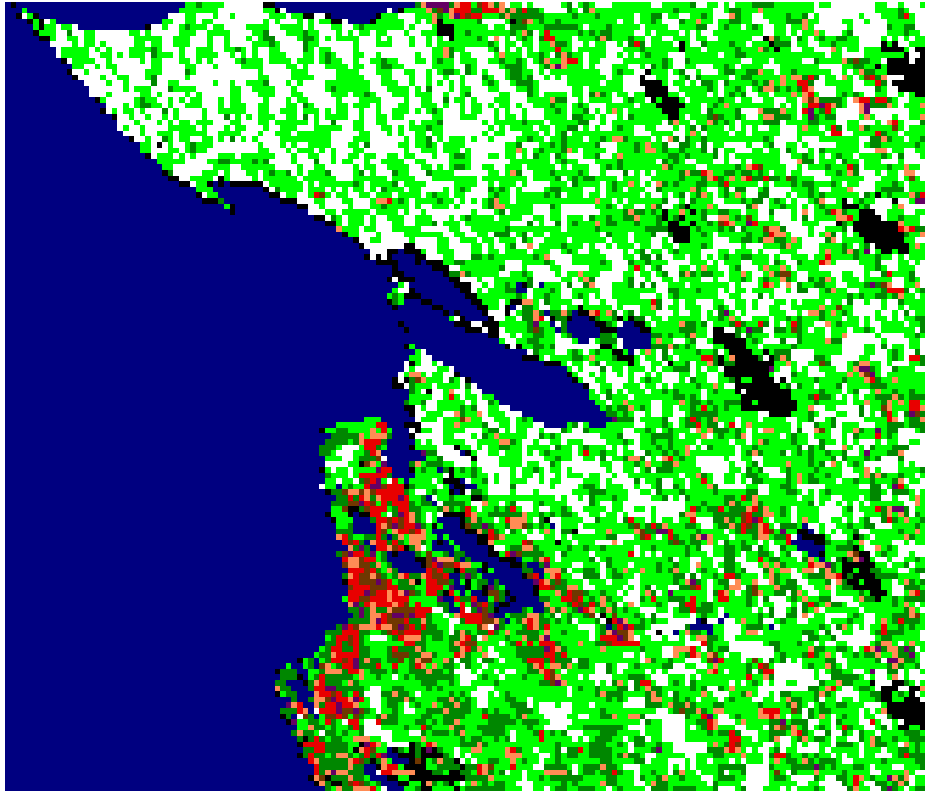
250м 7-дний ИКИ LAI продукт
дни 174-180



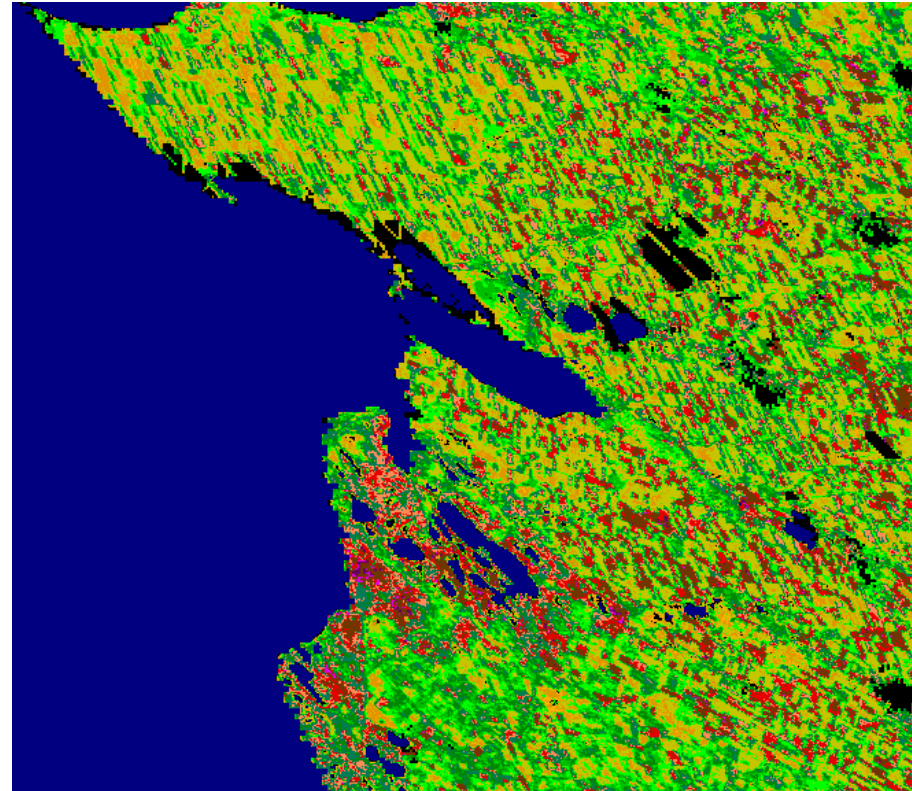
- В целом наблюдается соответствие LAI продуктов (пространственная вариация, близость гистограмм)
- Однако продукты не тождественны друг другу. Основные причины- (1) различие в границах композитного периода, (2) различие во входных данных, за счет масштаба и схемы гриддинга отдельных сеансов, (3) различие статистических свойств схем вычисления композита
- Какая схема лучше?

Преимущества данных высокого разрешения

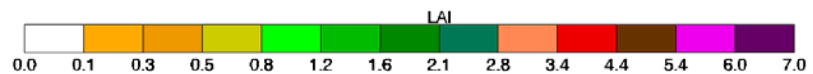
1 км 8-дний NASA LAI продукт
дни 177-184



250м 7-дний ИКИ LAI продукт
дни 174-180



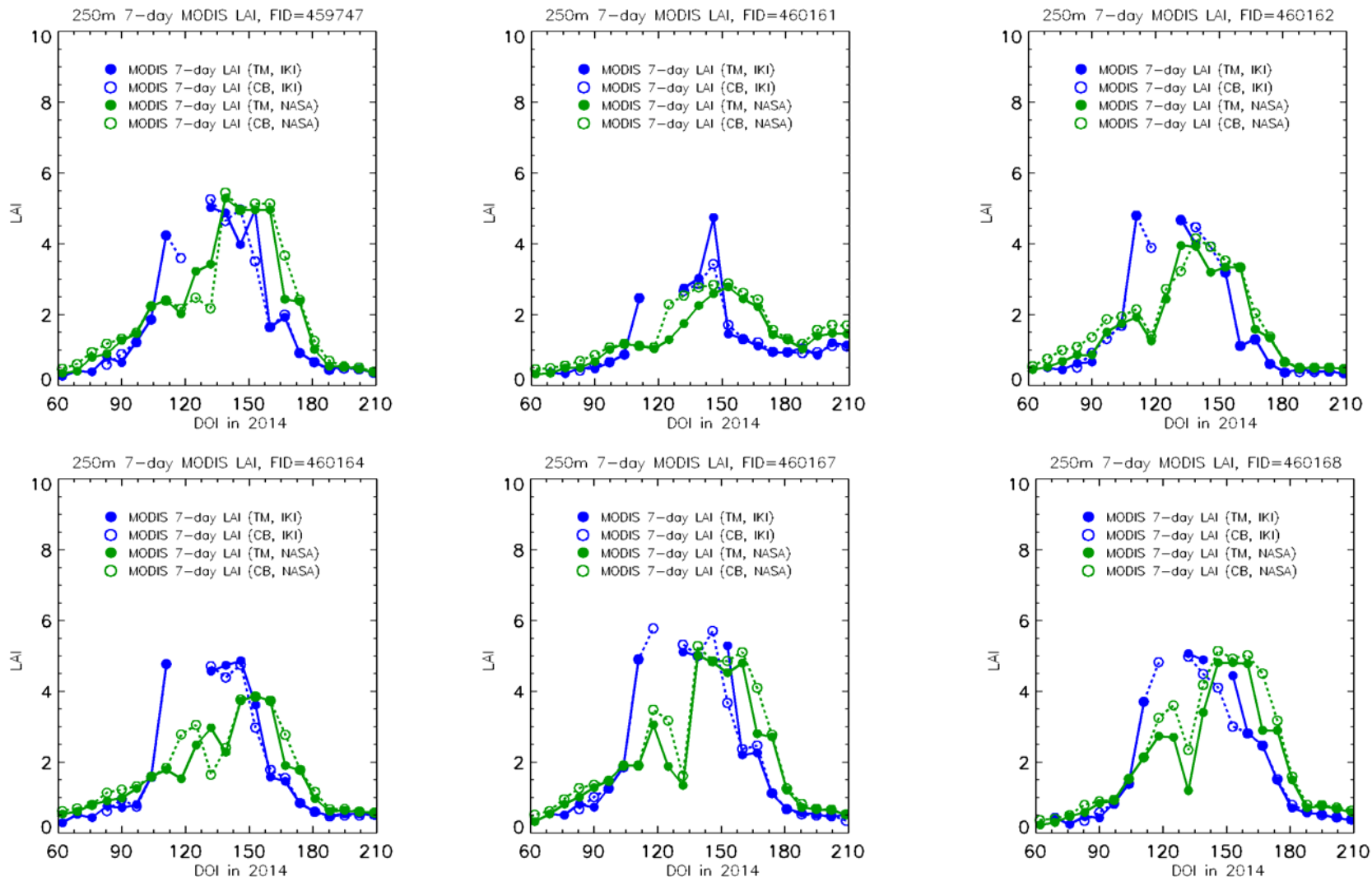
Water Fills



Регион: Восточное побережье Азовского моря

- При переходе от 1км к 250м качественно меняется возможности данных- в последнем случае различимы вариации LAI между индивидуальными с/х полями.

Сравнение работы композитных схем при одинаковых входных данных



- В схема ИКИ отсутствуют провалы в LAI профиле в вегетационный период, связанные с остаточной облачностью и неточностью атмосферной коррекции. Однако маска облаков излишне консервативна.
- Комбинирование данных заполняет пробелы и (не всегда) сглаживает профиль.

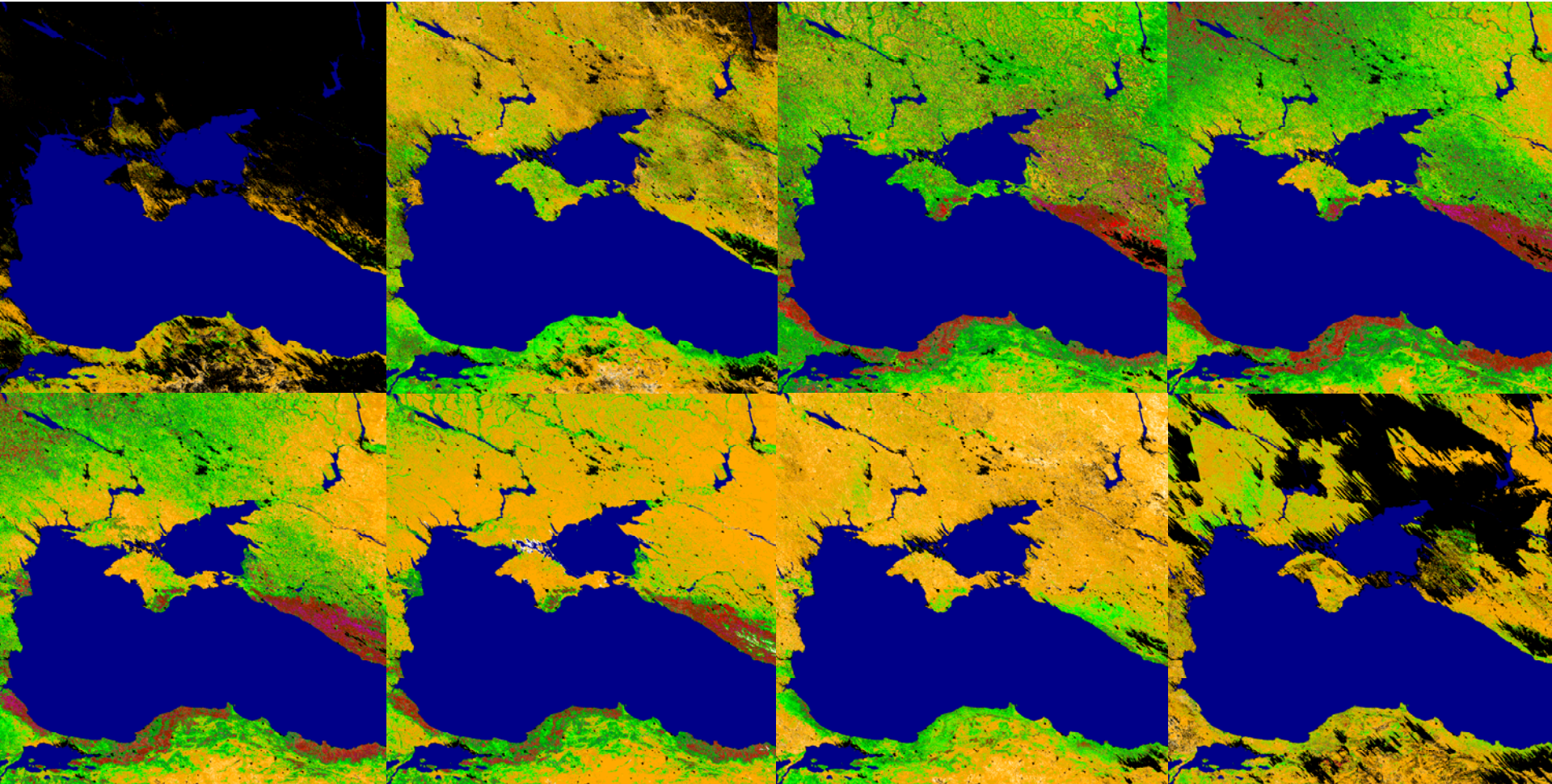
Временные ряды карт LAI после интерполяции за 2014 г

10-17 Фев

24-31 Мар

5-12 Май

16-23 Июнь

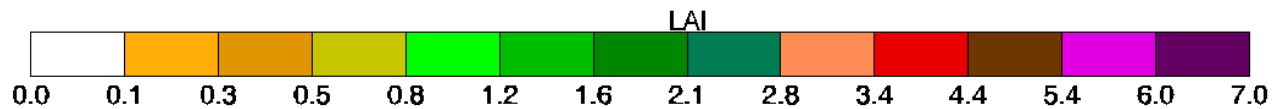


28 Июл- 3 Авг

8-15 Сен

20-27 Окт

1-8 Дек

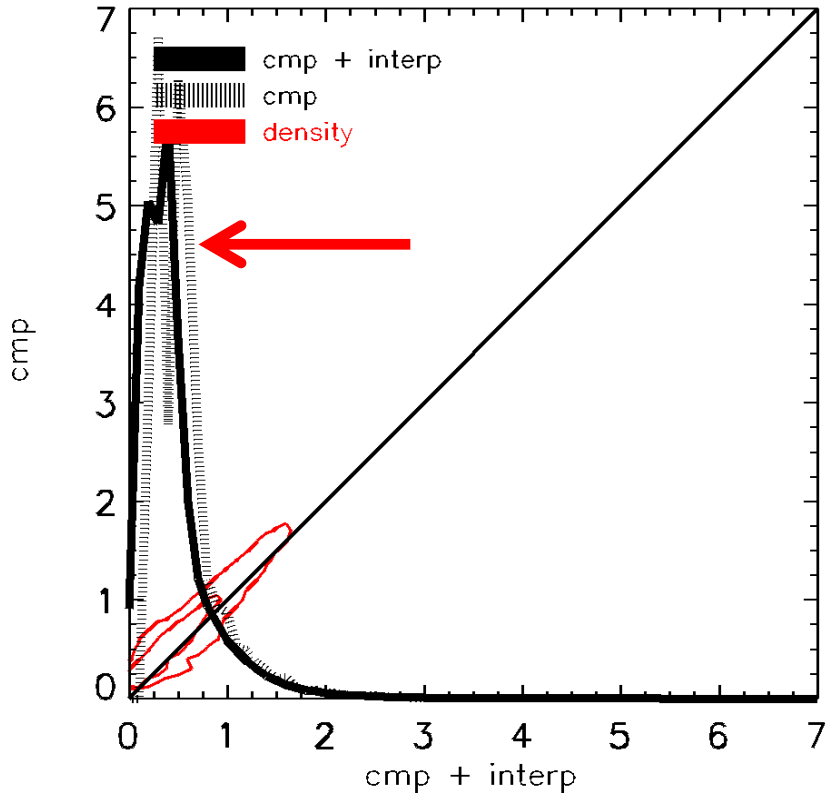


Сравнение LAI до и после интерполяции

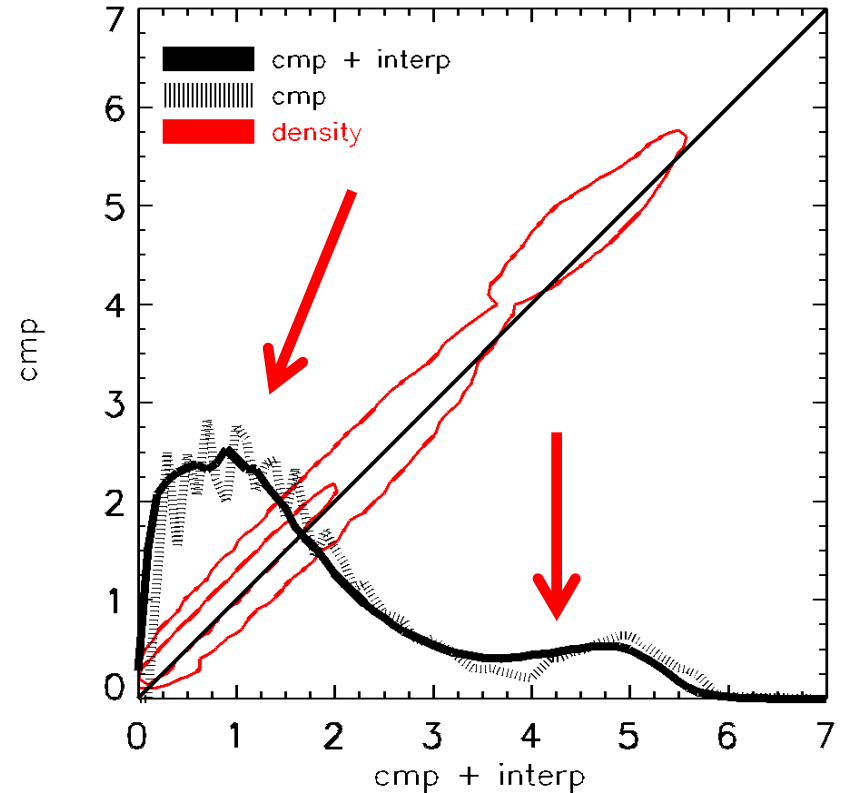
весна

ЛЕТО

250m MODIS (tile=h20v04, date=2014069)

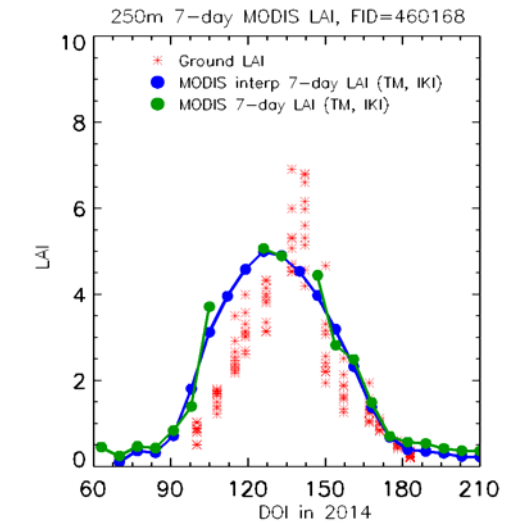
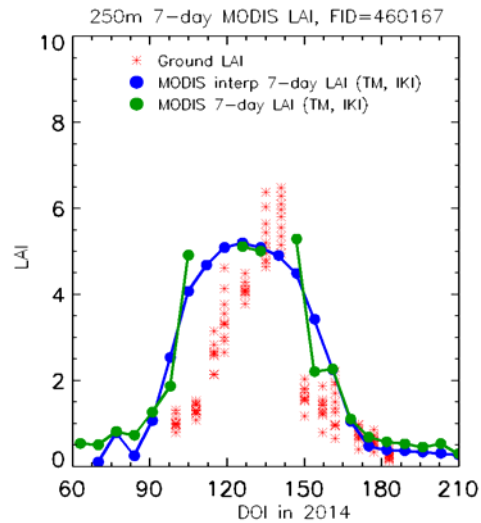
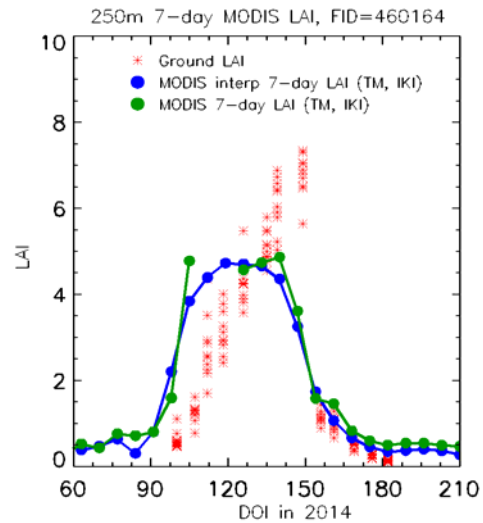
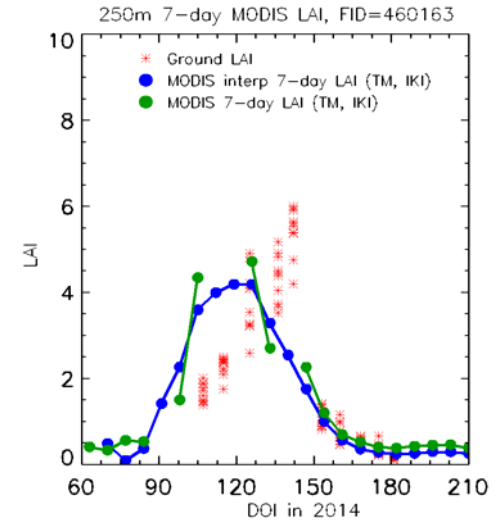
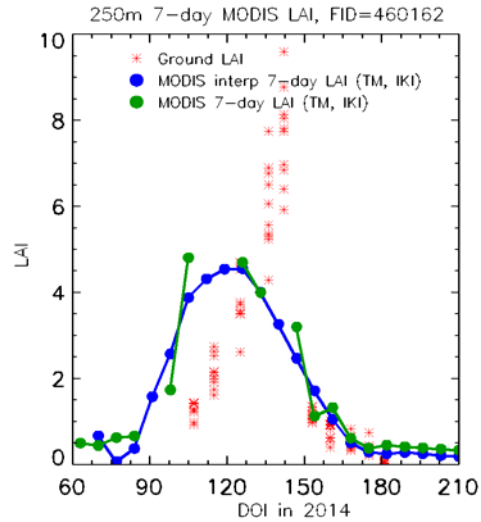
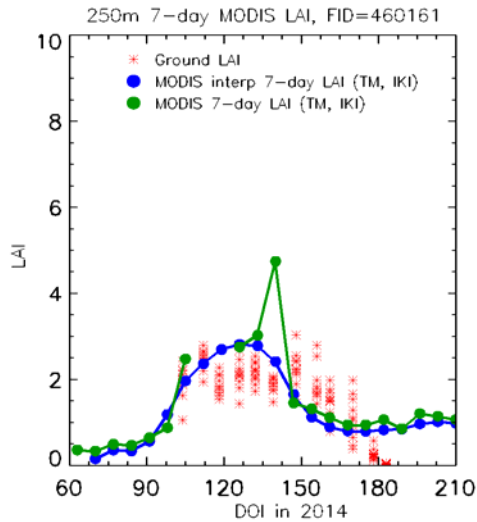


250m MODIS (tile=h20v04, date=2014139)



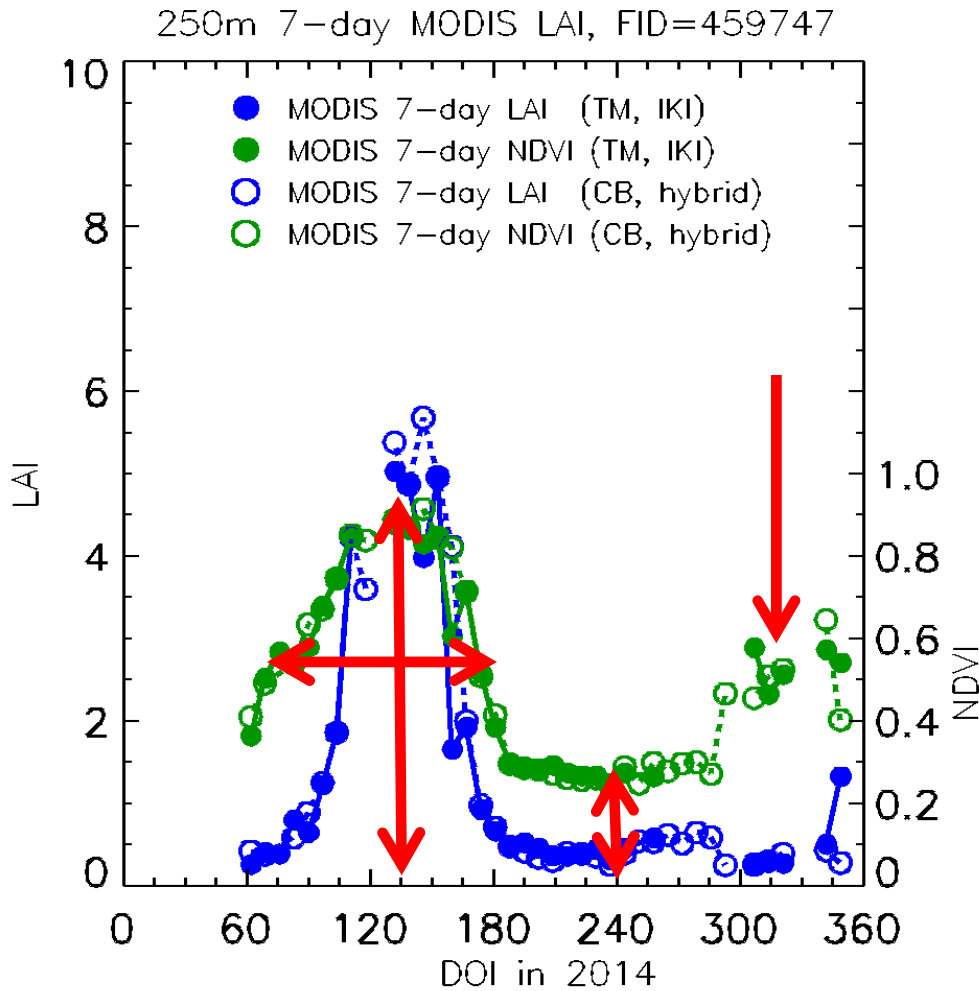
- Интерполяция сглаживает артефакт суточных данных- нефизический минимум при LAI=4.
- В среднем после интерполяции данные чуть занижены (в особенности заметно в зимний-весенний период).

Валидация ИКИ LAI продукта с наземными измерениями



- В целом наблюдается соответствие динамики LAI в продукте и наземных измерений
- Открытыми вопросами остаются высокое значение наземных LAI (6-10) и сдвиг начала вегетационного сезона между наземными и ДЗЗ данными

LAI или NDVI: в чем преимущество?



Концептуально:

- LAI- биофизический параметр с ясной физической интерпретацией- характеризует плотность фитоэлементов
- Вегетационные индексы –это радиометрические величины несущие информацию не только о растительности, но также подвержены влиянию почвы, атмосферы и геометрии измерения и проч. Например индекс SAVI- это лишь приближение к точному решению (LAI) с целью минимизации влияния почвы. У NDVI отсутствует даже это преимущество.

Практически:

- Динамический диапазон LAI выше
- В вегетационный период LAI более чувствителен к изменению плотности хлорофилосодержащих фитоэлементов
- LAI менее подвержен шумам и артефактам.

План операционной обработки LAI

- Операционная обработка реализована на кластере отдела технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН- используется 3 Linux машины (операционная система CentOS 4.1), по 2 потока обработки на каждой.
- Входными данными являются 250м суточные MODIS данные после атмосферной коррекции доступные из архивов ИКИ
- Первоначально продукт будет рассчитан для 17 MODIS тайлов по России (приоритет с/х землям) по всему временному ряду Terra MODIS данных (март 2000 -по н.в.)
- Расчетное время LAI зависит от объёма данных в тайле, как правило 3-8 мин/тайл.
- Продукт будет визуализирован в системе Вега отдела (www.vega-pro.ru)

Дальнейшая работа

- **Алгоритм для суточных LAI**- необходимо включить последние теоретические достижения по моделированию структуры среды. В текущей версии наблюдаются артефакты вычисления LAI. Параметры модели необходимо выбрать используя карту растительности ИКИ.
- **Композитинг**- в целом композитная схема ИКИ лучше в смысле отсутствия занижения LAI в вегетационный период (остаточная облачность и неточность атмосферной коррекции). Однако используется слишком консервативная облачная маска, что приводит к удалению достаточно хороших данных. В композитинге NASA ситуация с точностью до наоборот. В комбинации подходов видится оптимальное решение задачи.
- **Приложения**- необходим поиск приложений для с\х, раскрывающих потенциал LAI.