

# Алгоритм разделения индекса листовой поверхности между верхним и нижним ярусом лесов России

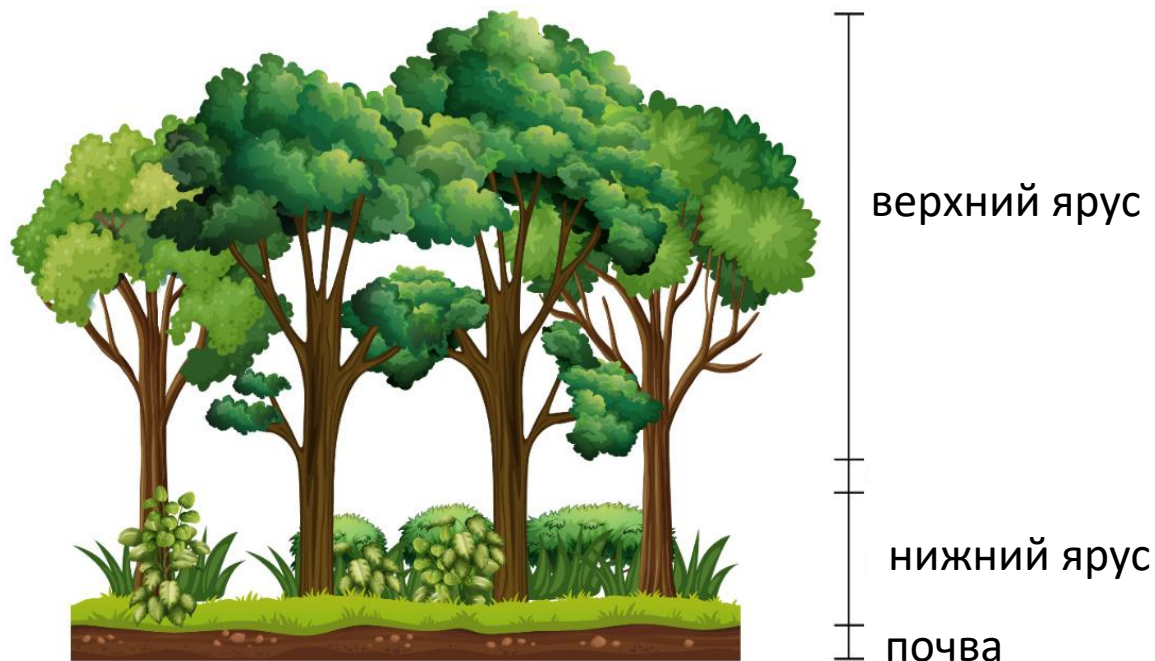
Н.В. Шабанов<sup>1</sup>, С.А. Барталев<sup>1</sup>, Т.С. Ховратович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИКИ РАН, Москва, Россия



ИКИ РАН, Москва, Россия, 17 ноября 2021

Постановка задачи: Как правило, спутниковые продукты дают оценку значения индекса листовой поверхности (LAI) для всей фитомассы растительного покрова (РП). Необходимо разделить его между верхним ярусом (кроны) и нижним (кустарники, трава, мох и т.п.)



Актуальность задачи: 1) Компоненты РП сильно отличаются функционально и моделируются отдельно в климатических, экологических и пр. моделях. 2) Измерения LAI крон широко доступны, в то время как не существует установленной методики измерения LAI нижнего яруса. В частности, это усложняет валидацию спутниковых продуктов LAI для разреженного леса



Пример разреженного леса с развитым нижним ярусом (Кольский п-в, район Хибин, полевые работы июнь 2019 г). Вклад нижнего яруса в таких экосистемах в общий LAI существенный



# Данные

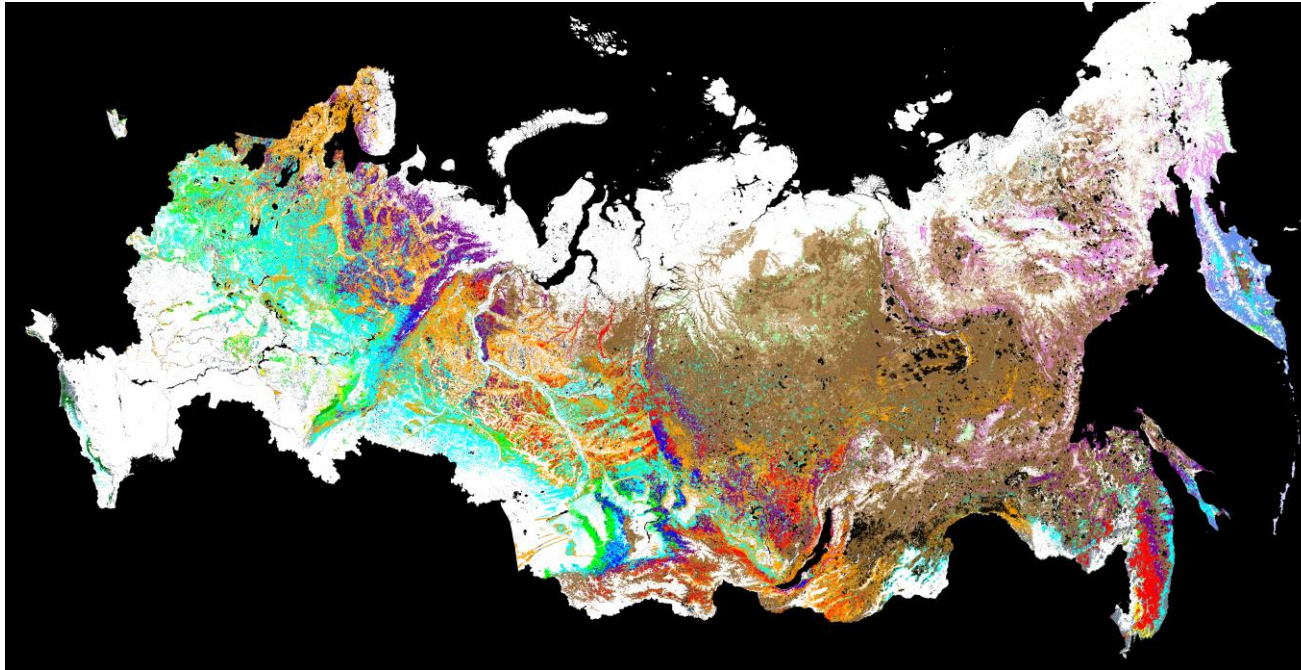
- 1) Карта проективного покрытия древесного полога леса (**f**) за 2010, 230м (ИКИ продукт)
- 2) Карта среднего за летний сезон индекса листовой поверхности (**LAI**) за 2010 г, 230 м (ИКИ продукт)
- 3) Карта пород леса России за 2010 г., 230 м (ИКИ продукт)
- 4) Данные для валидации – временные ряды карт LAI верхнего яруса и всей фитомассы для Восточной Сибири за 1998-2013 гг., 1/112<sup>0</sup>, и соответствующие наземные измерения за 2000 г. в районе г. Якутска. Предоставлены японским институтом JAMSTEC

## Определения

**f** - проективное покрытие древесного полога леса - отношение сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев к занимаемой площади

**LAI** (Leaf Area Index) - индекс листовой поверхности – отношение суммарной площади односторонней поверхности листьев к занимаемой площади

# Карта лесных пород России



Сосна (16.1%)
Ель (6.6%)
Пихта (0.9%)
Лиственница (30%)
Кедр(3.8%)
Дуб (1.4%)
Бук (0.1%)
Каменная береза(1.4%)
Береза(13.3%)
Осина (2.9%)
Липа (0.3%)
Клен (0.1%)

Отмаскированы- тундра на Севере и с.х. угодья на Юге  
Преобладающая порода леса- Лиственница- (разреженный лес)

# Методология разложения LAI на компоненты верхнего и нижнего яруса

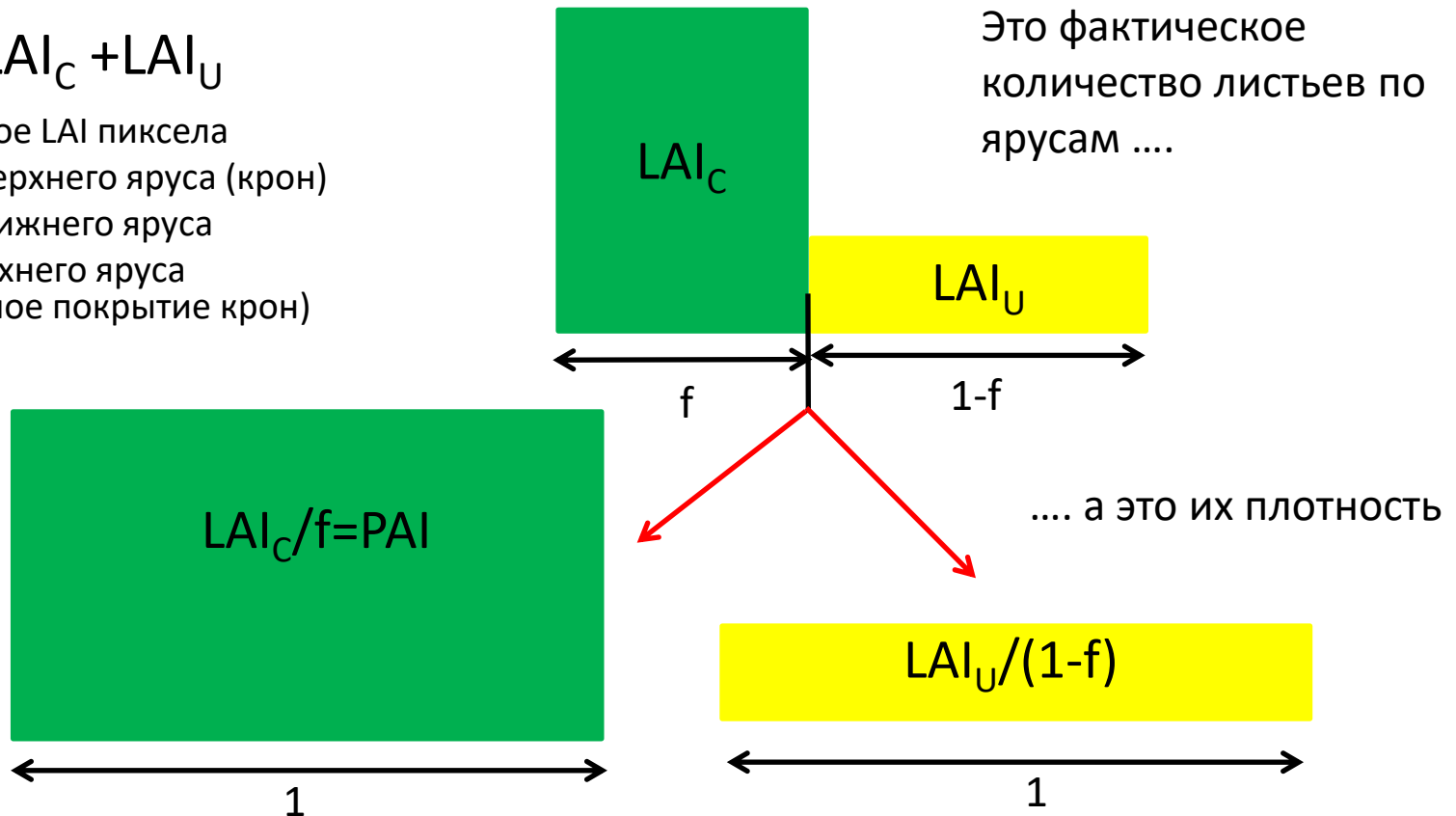
$$LAI_T = LAI_C + LAI_U$$

$LAI_T$  - полное LAI пиксела

$LAI_C$  - LAI верхнего яруса (крон)

$LAI_U$  - LAI нижнего яруса

$f$  - доля верхнего яруса  
(проективное покрытие крон)

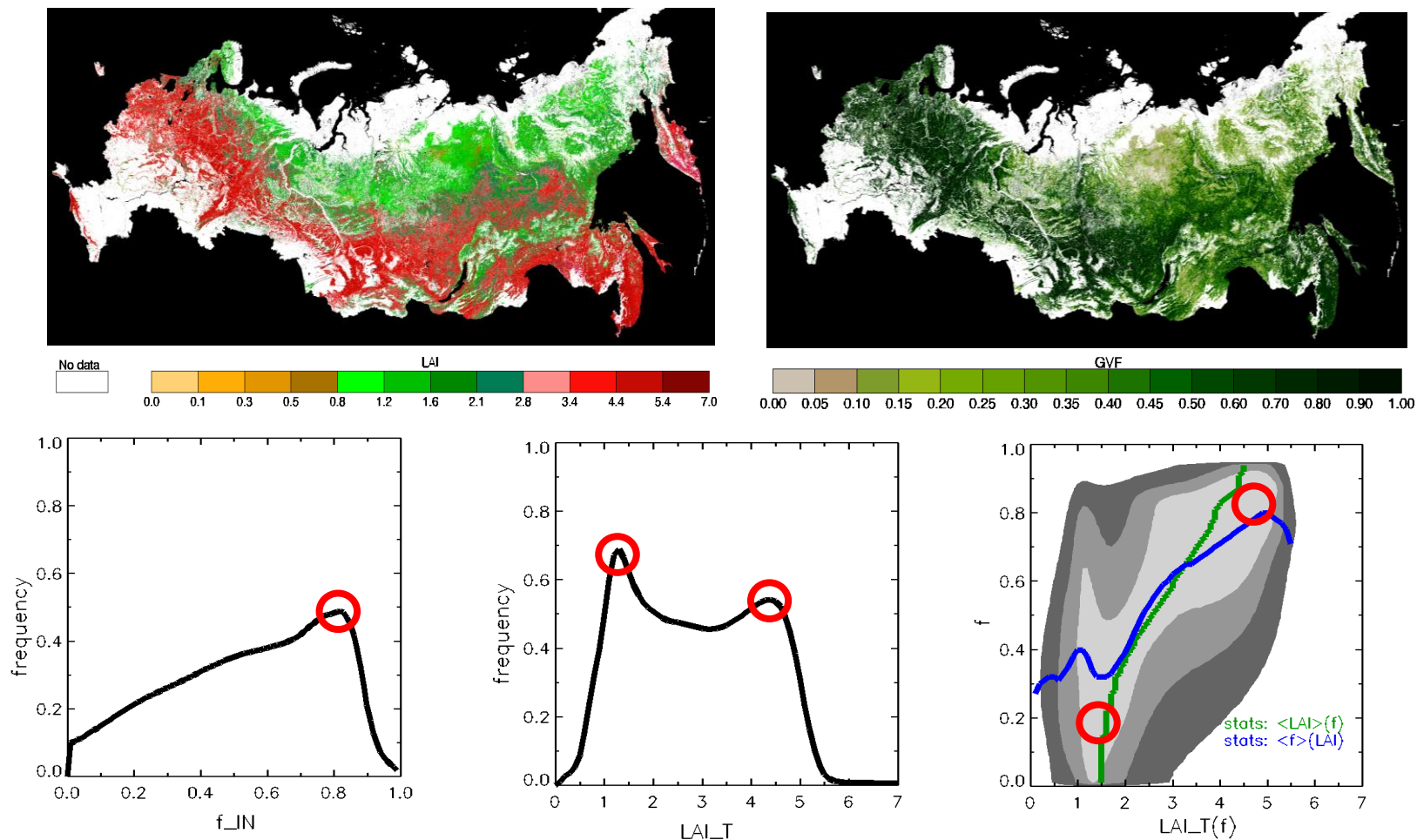


$$LAI_T = d_{L_C} * f + d_{L_U} * (1-f) \quad \leftarrow \text{представление через плотность}$$

$d_{L_C} = LAI_C / f$  - плотность фитоэлементов верхнего яруса распространяется на весь пиксел. Это LAI кроны (или PAI- Plant Area Index)

$d_{L_U} = LAI_U / (1-f)$  - плотность фитоэлементов нижнего яруса распространяется на весь пиксел.

# Соотношение между индексом листовой поверхности ( $LAI_T$ ) и проективным покрытием ( $f$ )



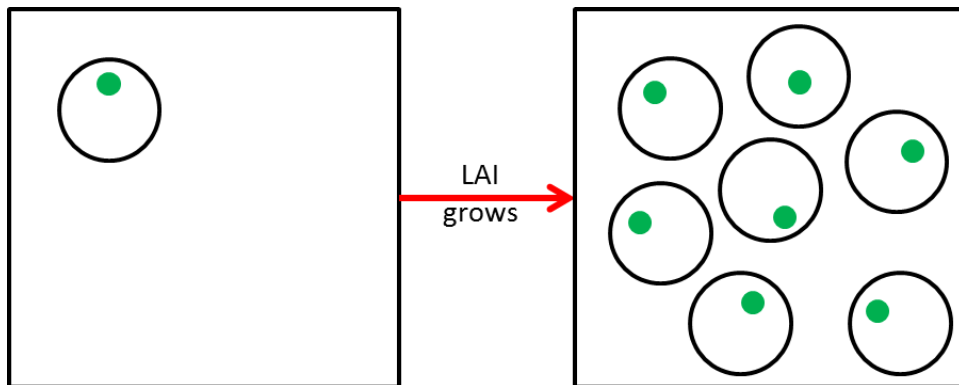
- Гистограмма LAI имеет два пика (разреженный и сомкнутый лес)
- 2-d фазовая диаграмма показывает что LAI и  $f$  имеют нелинейное соотношение

# Причина нелинейности соотношения LAI - f

Общее соотношение между LAI крон ( $LAI_C$ ) и проективным покрытием крон ( $f$ ):

$$LAI_C(f) = d_L(f) * f$$

## 1) Линейная модель

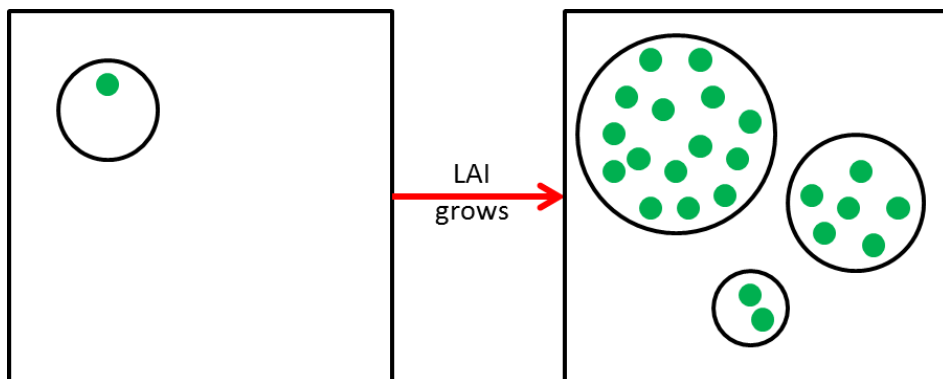


$$d_L = \text{const}$$

LAI растёт только за счёт увеличения проективного покрытия крон

$$f = (1/d_L) * LAI_C$$

## 2) Нелинейная (реалистичная) модель



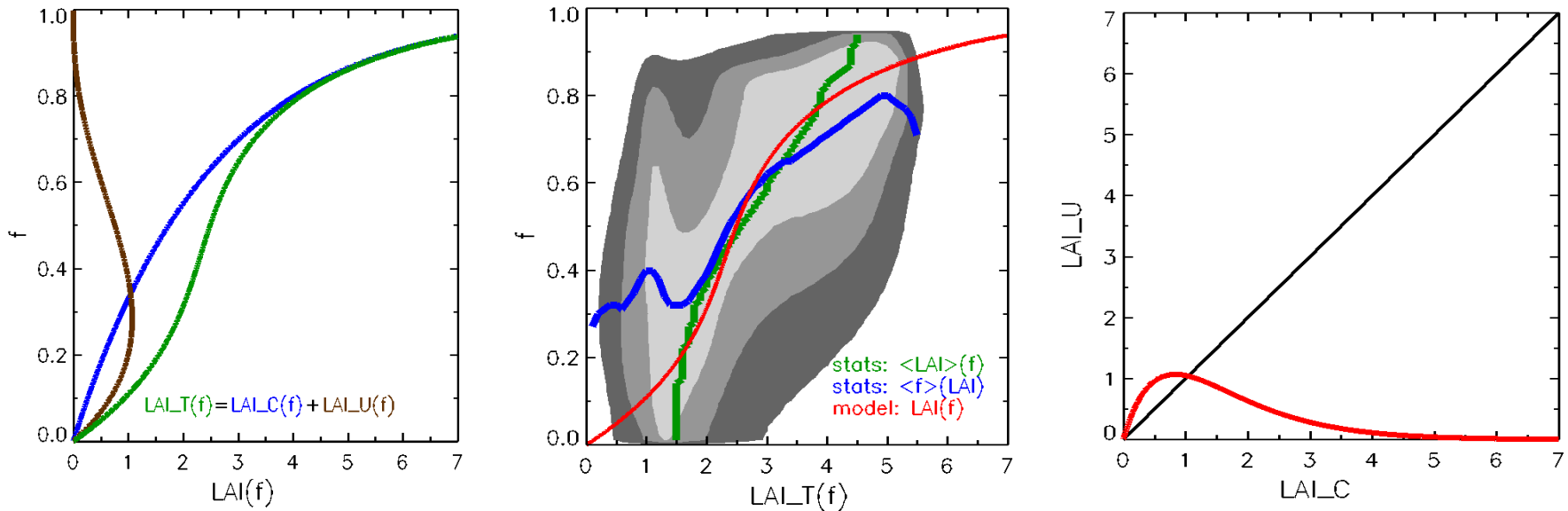
$$d_L \neq \text{const}$$

LAI растёт не только за счёт увеличения проективного покрытия но и плотности. Часто используется экспоненциальный закон:

$$f = 1 - \exp(-k * LAI_C)$$



# Формулировка модели $LAI_T(f)$



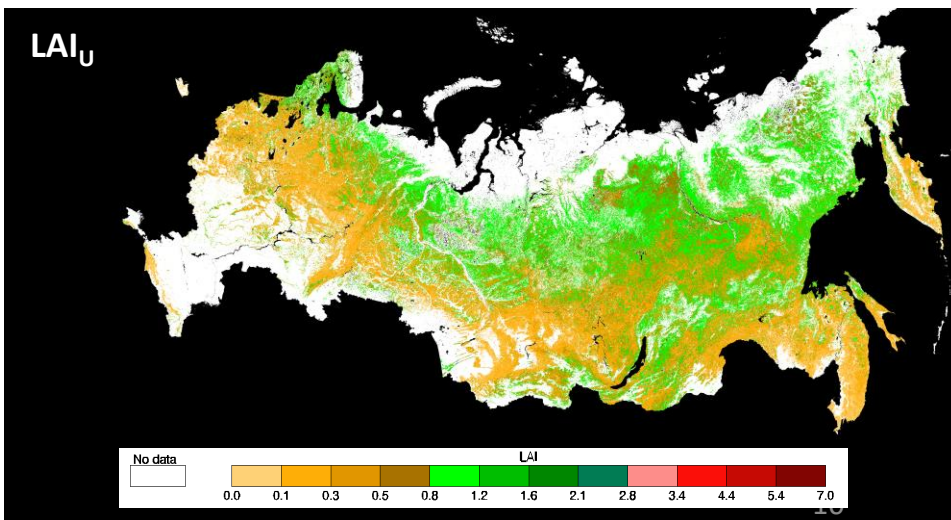
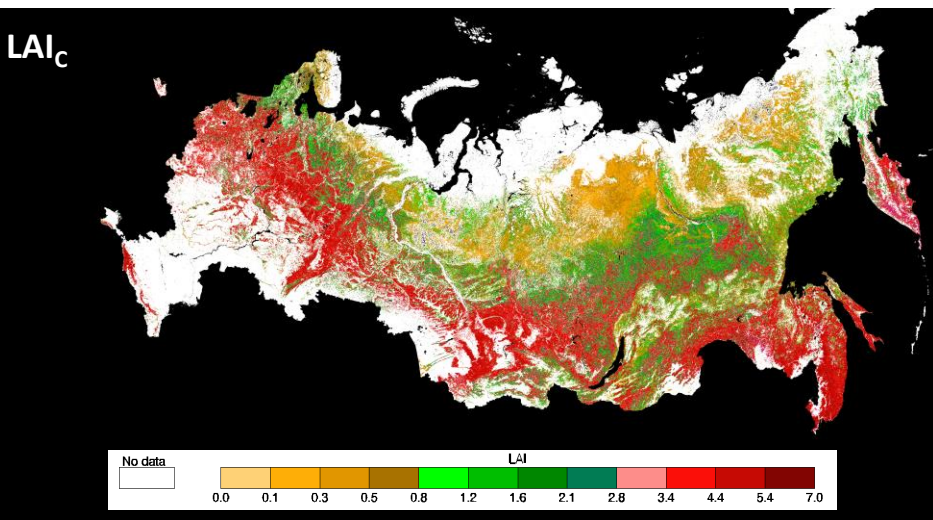
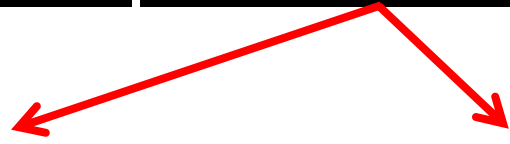
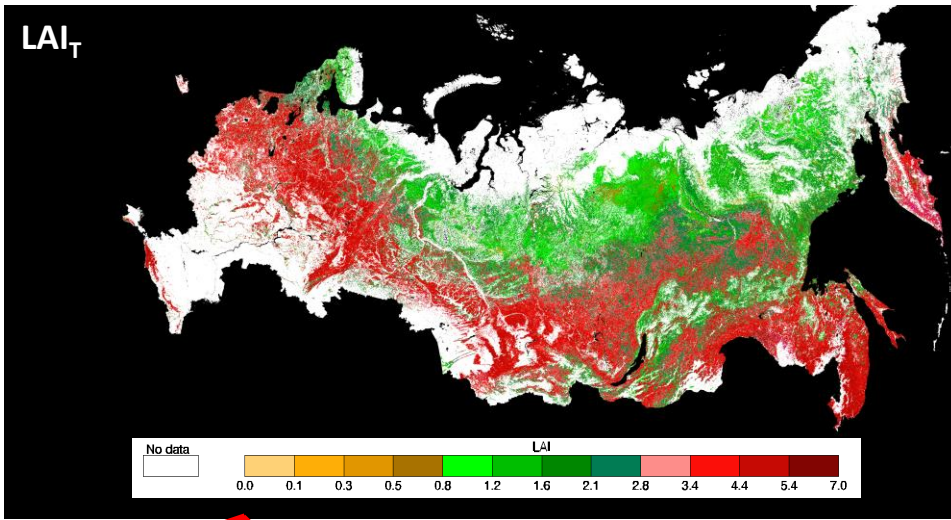
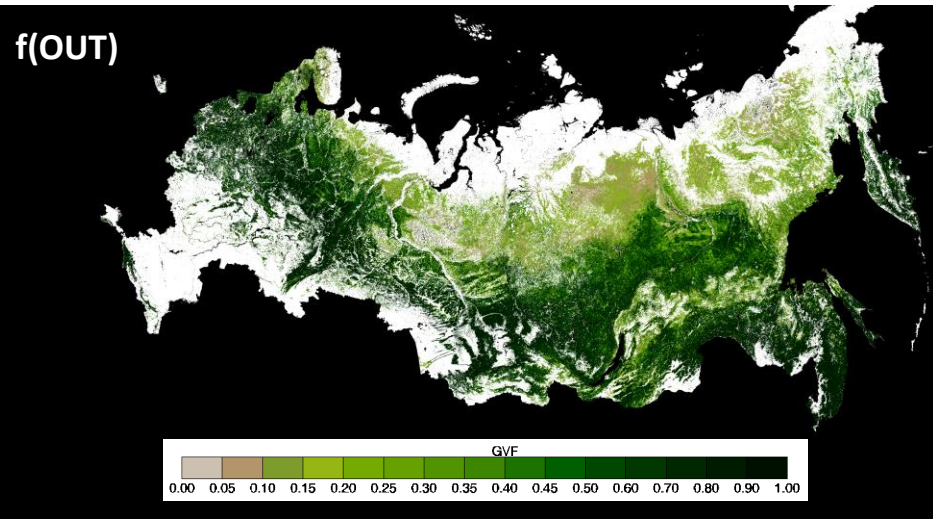
$$LAI_C(f) = \ln(1-f)/k, \quad k=0.4$$

$$LAI_U(f) = \alpha * LAI_C(f) * [1-f]^\beta, \quad \alpha = 3.5, \beta = 3.0$$

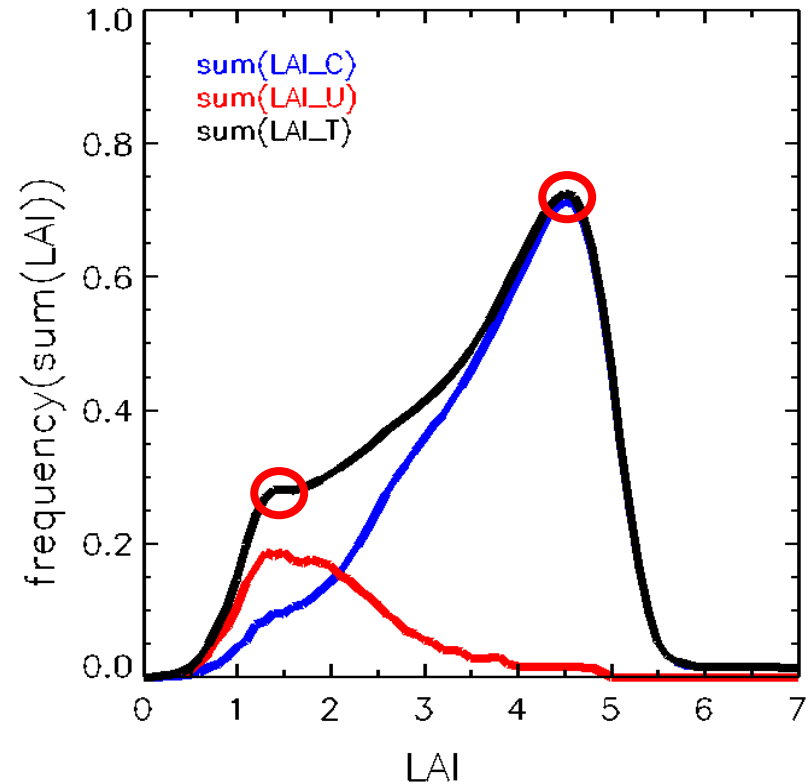
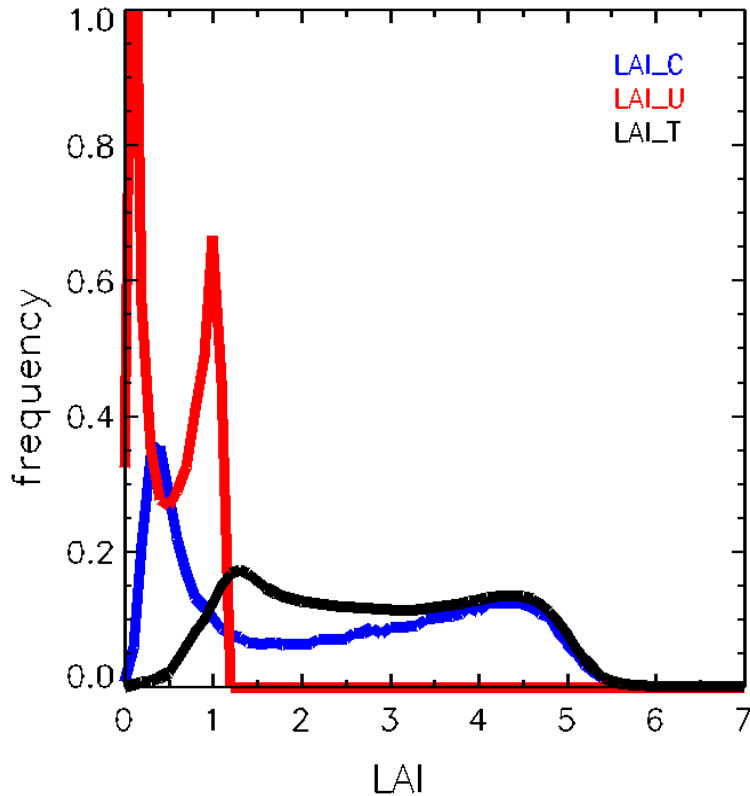
$$LAI_T(f) = LAI_C(f) + LAI_U(f)$$

- Для крон использован стандартный экспоненциальный закон соотношения доли просветов и LAI)
- Для нижнего яруса LAI пропорциональна LAI крон (нужны те-же благоприятные условия произрастания), но модулируется долей просветов ( $1-f$ ), (в сомкнутом древесном пологе нижний ярус не развит)
- Свободные параметры модели определены путем фитинга модели и спутниковых продуктов LAI и  $f$

# Карты разложения LAI на компоненты $LAI_T = LAI_C + LAI_U$



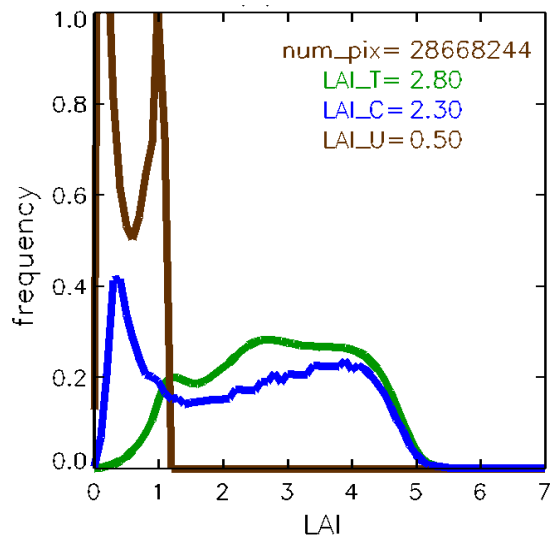
## Гистограммы LAI<sub>T</sub>, LAI<sub>C</sub> и LAI<sub>U</sub>



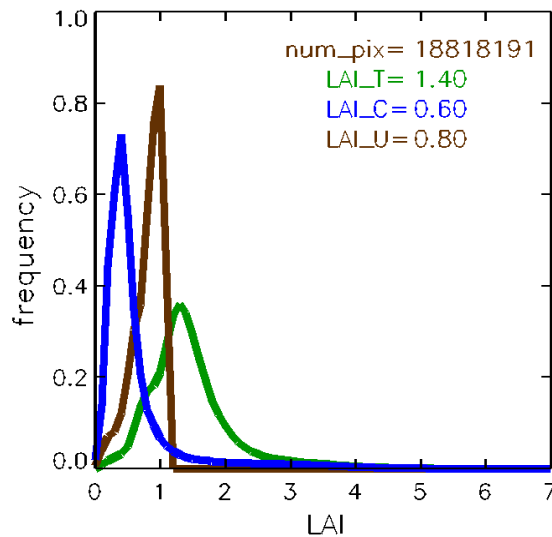
- Гистограмма индивидуальных компонент информативна для характеристики этих компонент. Но эти гистограммы нельзя складывать
- Суммарная гистограммы компонент можно складывать так что в сумме получается суммарная гистограмма суммарного LAI. В суммарной гистограмме для каждого диапазона накапливается LAI компоненты, попадающий в данный диапазон. Данная гистограмма показывает что основной вклад в пик с низкими значениями LAI от нижнего яруса, а для высоких от верхнего.

# Примеры разложения $LAI_T = LAI_C + LAI_U$ в зависимости от породы

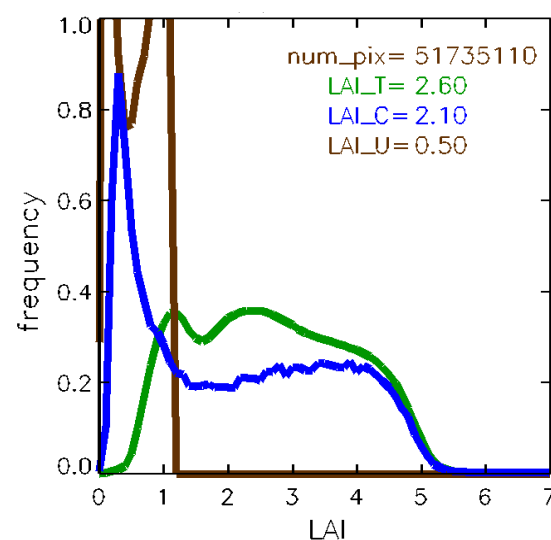
сосна



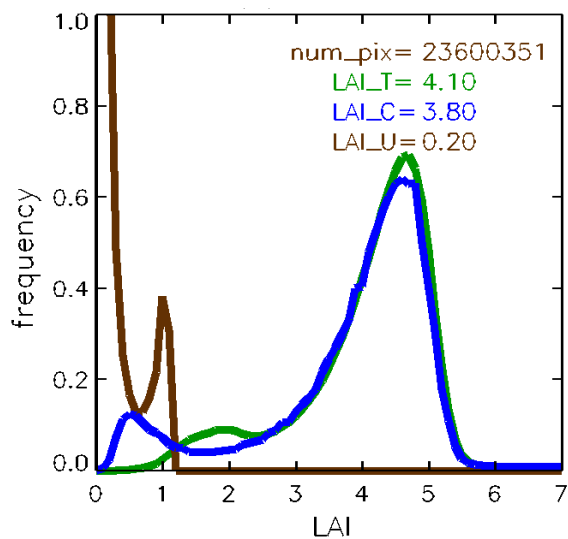
редкая лиственница



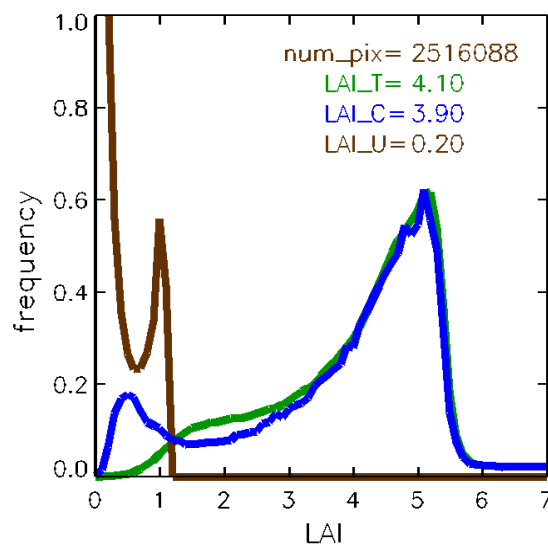
лиственница



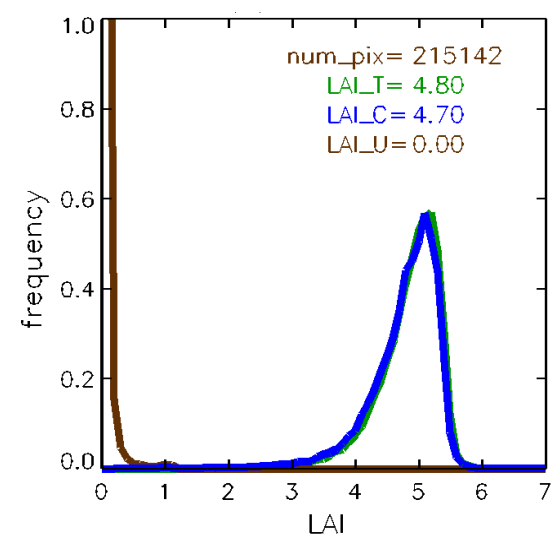
береза



дуб



бук

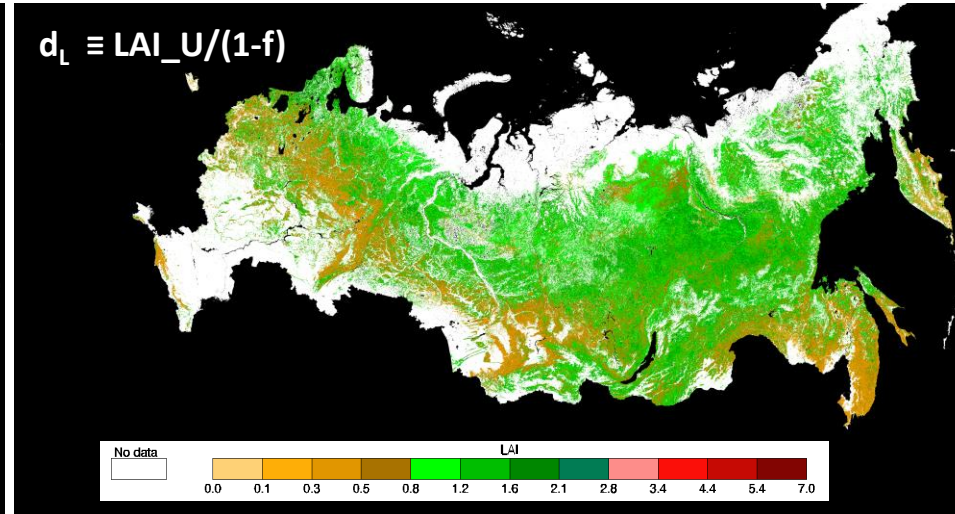
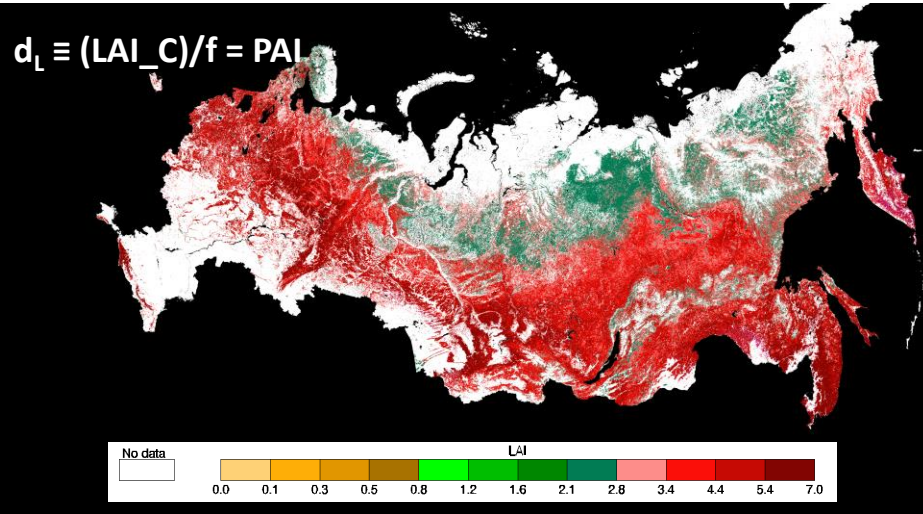




# Плотность листвы по ярусам

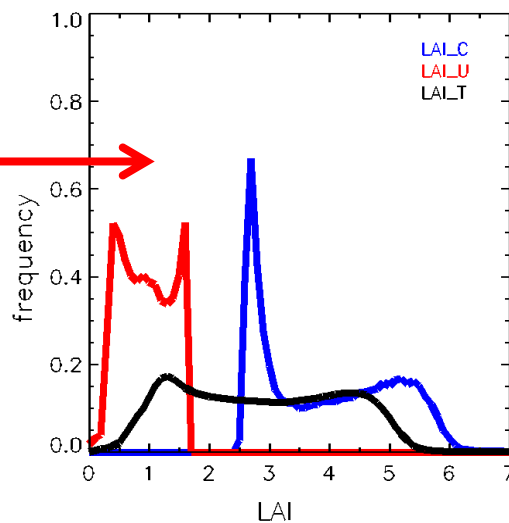
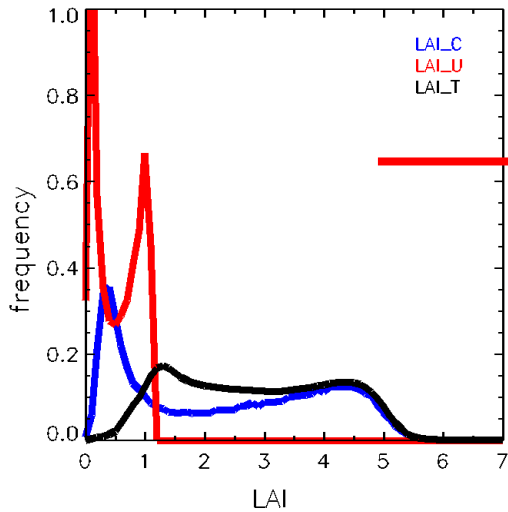
Верхний ярус

Нижний ярус



LAI

$d_L$

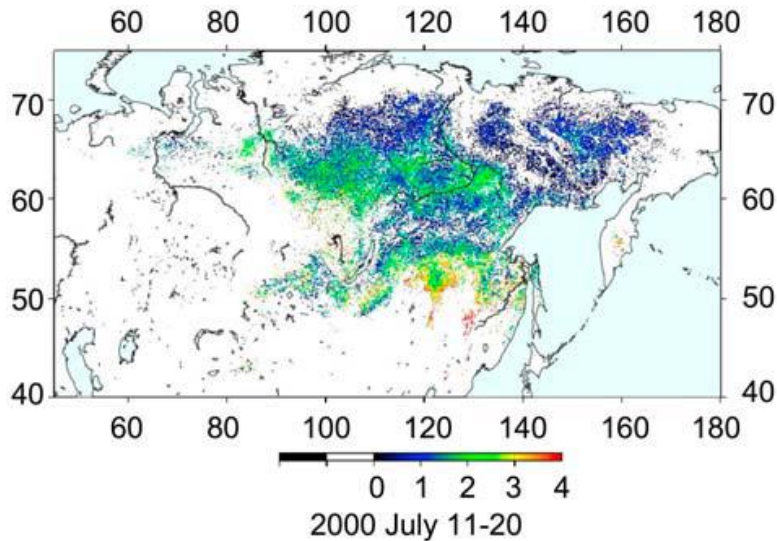


Гистограммы плотностей не перекрываются по диапазонам (в отличие от гистограмм LAI)

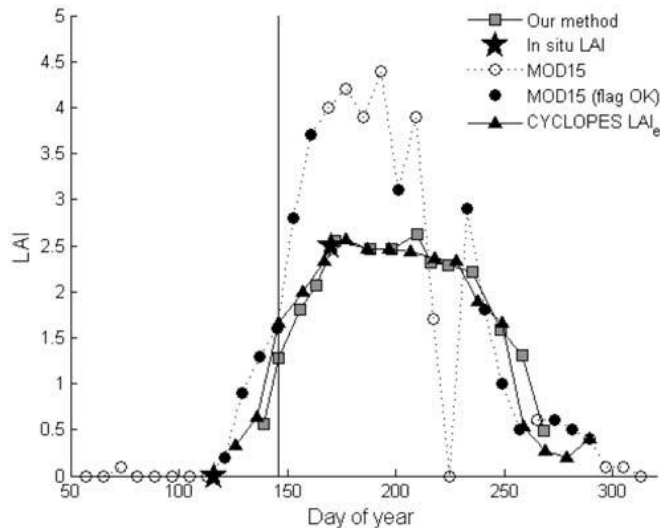
IGBP классы	Asner LAI	ИКИ породы леса	LAI из литературы	Среднее из литературы	JJA Mean LAI <sub>T</sub> (LAI <sub>C</sub> )	Max LAI LAI <sub>T</sub> (LAI <sub>C</sub> )
TeENL	3=[2.5,3.5]	(1) Сосна	2.41-3.20 (Y) 1.8-2.0 (N)	2.5	2.8 (2.3)	3.6 (3.3)
		(2) Ель	6.03-5.79 (Y) 2.5-3.9 (N)	3.5	2.9 (2.5)	3.7 (3.4)
		(3) Пихта	7.2 (Y)	4.5	3.9 (3.7)	4.8 (4.7)
		(5) Сибирский Кедр		----/----	3.4 (3.1)	4.1 (3.9)
BoTeDNL	4.5 = [2.5, 5.5]	(4) Лиственница	1.43 (Y) 0.26-1.28-2.70 (O) 2.0 (V) 1.5 (H)	1.5	2.6 (2.1)	3.2 (2.8)
		(13) Редкая лиственница			1.4 (0.6)	1.7 (0.9)
TeDBL	5=[4,6]	(6) Дуб	3.27-4.52 (Y) 1.9-5.1 (N)	4.0	4.1 (3.9)	5.6 (5.5)
		(7) Бук	5.46-5.60 (Y) 3.0-5.3	5.0	4.8 (4.7)	5.6 (5.5)
		(8) Береза Каменная		----/----	4.8 (4.7)	5.6 (5.5)
		(9) Береза	4.51-4.68 (Y) 2.5(N)	4.0	4.1 (3.8)	5.0 (4.9)
		(10) Осина	2.91-3.15 (Y)	4.0	4.3 (4.1)	5.3 (5.3)
		(11) Липа	3.78-4.13 (Y)	4.0	4.5 (4.4)	5.6 (5.5)
		(12) Клен	2.01-4.68(Y)	4.0	4.6 (4.6)	5.7 (5.7)
		(14) Кедровый стланник		----/----	2.1 (1.3)	2.5 (1.8)
		(17) Лиственный кустарник		----/----	1.8 (1.0)	2.0 (1.4)

# Валидация по Восточной Сибири

## Спутниковый продукт LAI



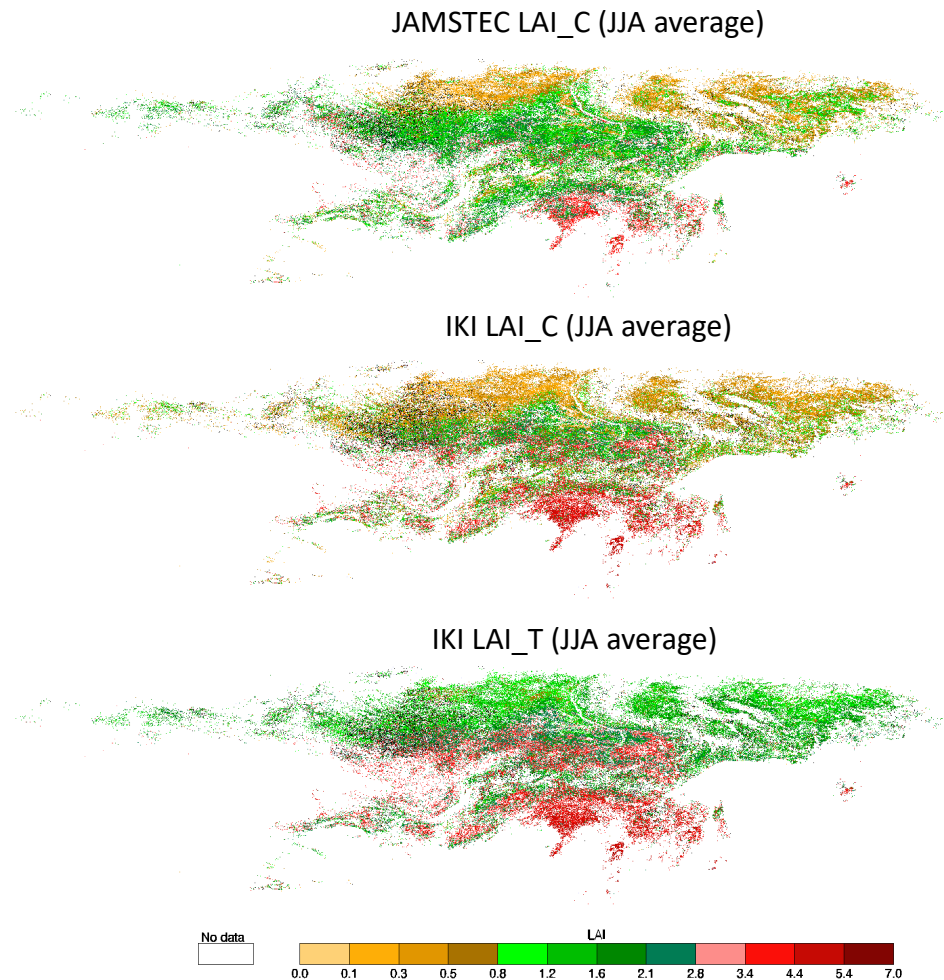
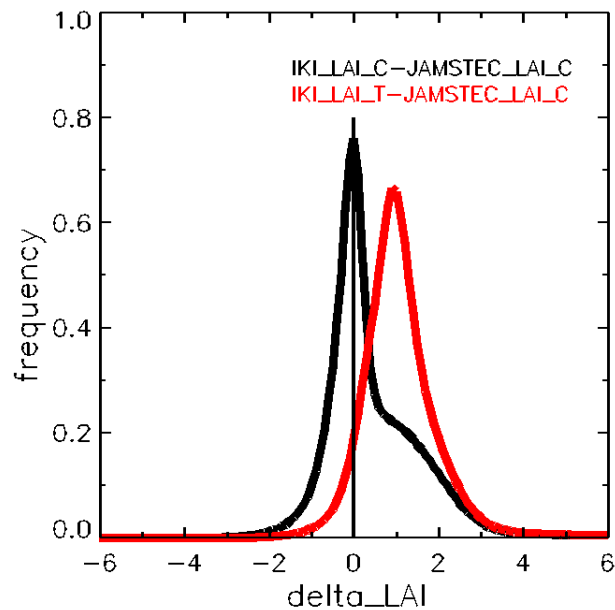
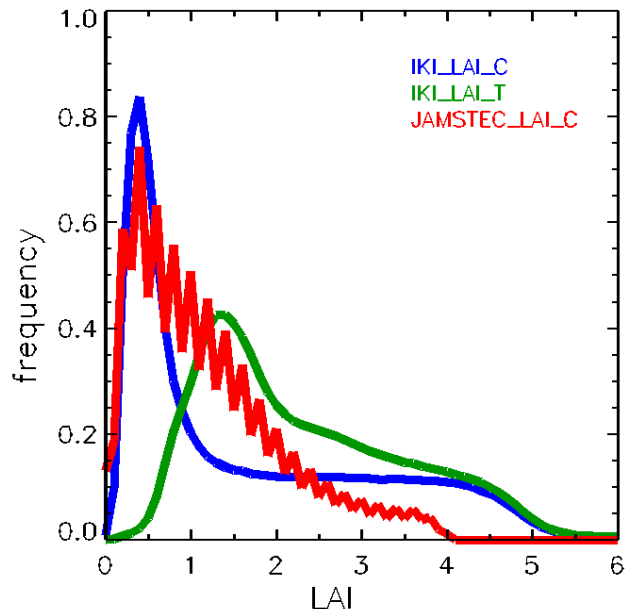
## Наземные измерения LAI



- Данные предоставлены японским институтом JAMSTEC (Kobayashi et al, 2010 )
- Данные дают оценку  $LAI_T$  и  $LAI_C$  на основе временных рядов 10-дневных композитов спутникового продукта (1998-2013) по Восточной Сибири и наземных измерений в районе г. Якутска за 2000 г.
- Спутниковый продукт рассчитан на основе соотношений между LAI и вегетационными индексами моделируемыми на основе уравнения переноса.
- MODIS Reduced Simple Ratio (RSR) использован для оценки  $LAI_C$ , а MISR Simple Ratio (SR) для  $LAI_U$  (среда моделировалась как кустарник и травы).

Kobayashi, H., Delbart, N., Suzuki, R., and Kushida, K.(2010). A satellite based method for monitoring seasonality in the overstory leaf area index of Siberian larch forest, *J. Geophys. Res.-Biogeosci.*, **115**, G01002, doi:10.1029/2009jg000939

# Сравнение IKI\_LAI and JAMSTEC\_LAI за 2010 г.



IKI\_LAI продукт был перепроецирован в географическую проекцию, а 10-дневный JAMSTEC\_LAI был усреднен по летнему сезону



# Основные результаты

- Разработана методология разложения спутниковой оценки LAI полной фитомассы на компоненты (фракции верхнего и нижнего яруса).
- Рассчитан прототип продукта фракции LAI для лесов России за 2010 г
- Проведено сравнение по породам с данными из литературы
- Начата валидация продукта

# Дальнейшие шаги

- Завершить валидацию продукта фракции LAI ( $LAI_C + LAI_U$ ) с использованием японских данных по Восточной Сибири (спутниковых и наземных)
- Используя данные сомкнутости крон, полученные коллега ИГ РАН на основе беспилотных измерений по ряду тестовых участков (Кольский п-ов, Якутия и проч.), провести валидацию продукта  $f$ .