



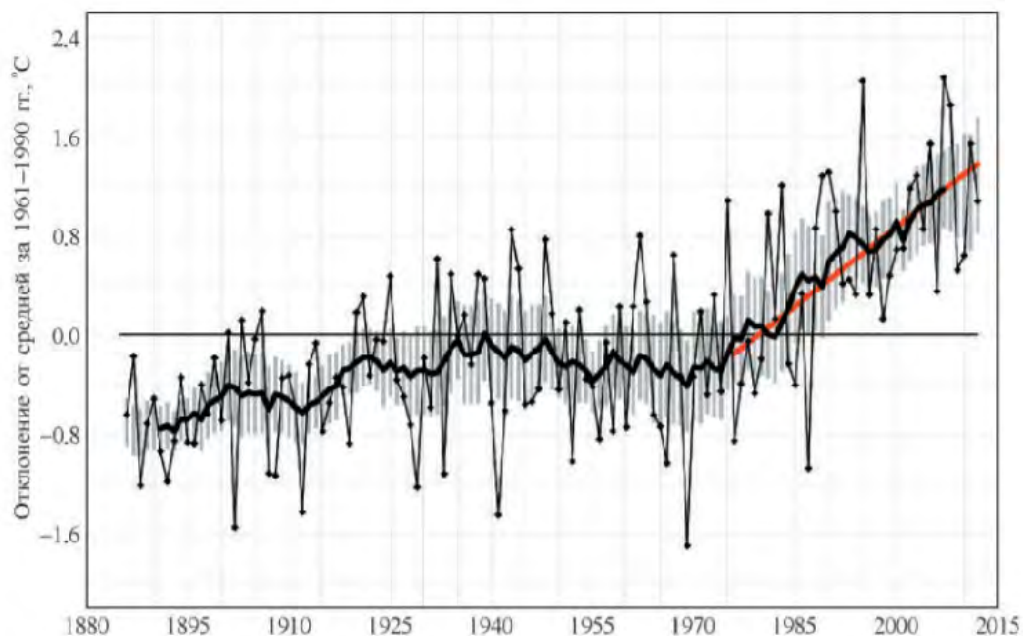
# Мультиплатформенный дистанционный мониторинг воздействия изменения климата на северные леса России

*Тутубалина О.В.*<sup>1,5</sup>, *Зимин М.В.*<sup>1,2</sup>, *Голубева Е.И.*<sup>1</sup>, *Михайлюкова П.Г.*<sup>1</sup>, *Терская А.И.*<sup>1</sup>,  
*Барталев С.А.*<sup>3</sup>, *Шабанов Н.В.*<sup>3</sup>, *Жарко В.О.*<sup>3</sup>, *Медведев А.А.*<sup>4</sup>, *Тельнова Н.О.*<sup>4</sup>, *Кудиков А.В.*<sup>4</sup>,  
*Rees W.G.*<sup>5</sup>, *Marshall G.*<sup>6</sup>, *Turton R.H.*<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова; <sup>2</sup>ИТЦ «СканЭкс»; <sup>3</sup>Институт космических исследований РАН; <sup>4</sup>Институт географии РАН; <sup>5</sup>Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, UK;

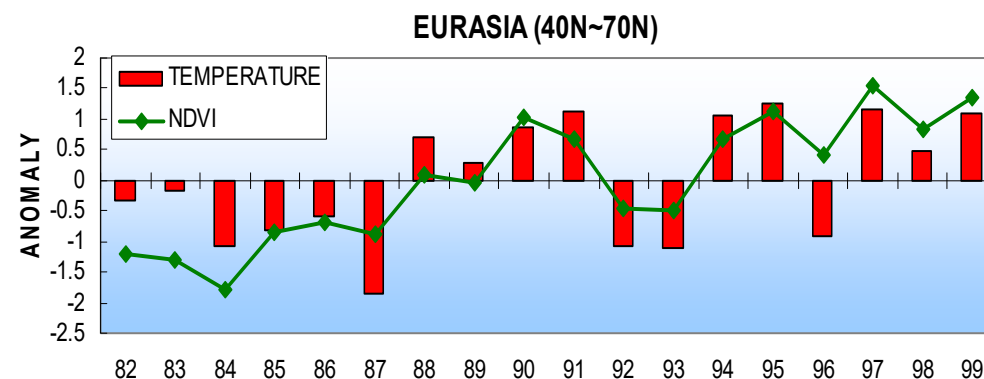
<sup>6</sup>British Antarctic Survey, Cambridge, UK

# Актуальность работ



Изменения аномалий среднегодовой температуры воздуха, усредненные по территории России, в течение 1886-2012 гг. Толстая черная линия показывает сглаженные значения, красная - тренд за 1976-2012 гг.

*Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2014*



*Myneni et al, (1991) Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, 386, 698-702.*

Наряду с климатически обусловленными изменениями, в северных лесах отмечаются антропогенно-обусловленные, значительно большей амплитуды (пожары, вырубки, техногенное воздействие, восстановление после них).

Природные и антропогенные факторы вступают в сложные взаимодействия.

# Организационные рамки

Российско-британский проект, пять организаций-партнеров

Сроки: 2018-2020 (весьма вероятно продолжение)

Финансирование: Минобрнауки РФ и Британский Совет



## Цель проекта

Разработка и апробация технологий в области дистанционной оценки динамики фитомассы северных лесов России в связи с изменением климата

## Ожидаемые результаты

Технологии оценки характеристик древостоев на основе высокодетальных одноканальных, многоканальных и гиперспектральных данных съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Технологии картографирования структуры древостоев и переходной зоны лес-тундра по космическим снимкам высокого разрешения Landsat 8 OLI и Sentinel 2 MSI.

Технологии картографирования динамики биофизических параметров лесов (LAI – Leaf Area Index, GSV – Growing Stock Volume) по сериям космических снимков MODIS, и статистического анализа ее взаимосвязи с региональной изменчивостью климата.

Программно-технические решения в области создания образца программного комплекса для дистанционного мониторинга динамики северных лесов России.

## Концептуальная схема

Анализ временных серий MODIS LAI, GSV с 2000 г., сопоставление с динамикой климатических показателей. Определение роли климатического и иных факторов на модельных территориях

Масштабирование LAI, GSV от уровня полевых работ и БПЛА к уровню MODIS (через промежуточные снимки со спутников Landsat 8, Sentinel 1, 2), для верификации MODIS LAI, GSV

Оценка параметров древостоев (в том числе LAI, GSV) на модельных территориях по данным БПЛА съемки (с 50 и 100 м) и наземной фотограмметрия. Верификация по данным наземных измерений и полевых описаний

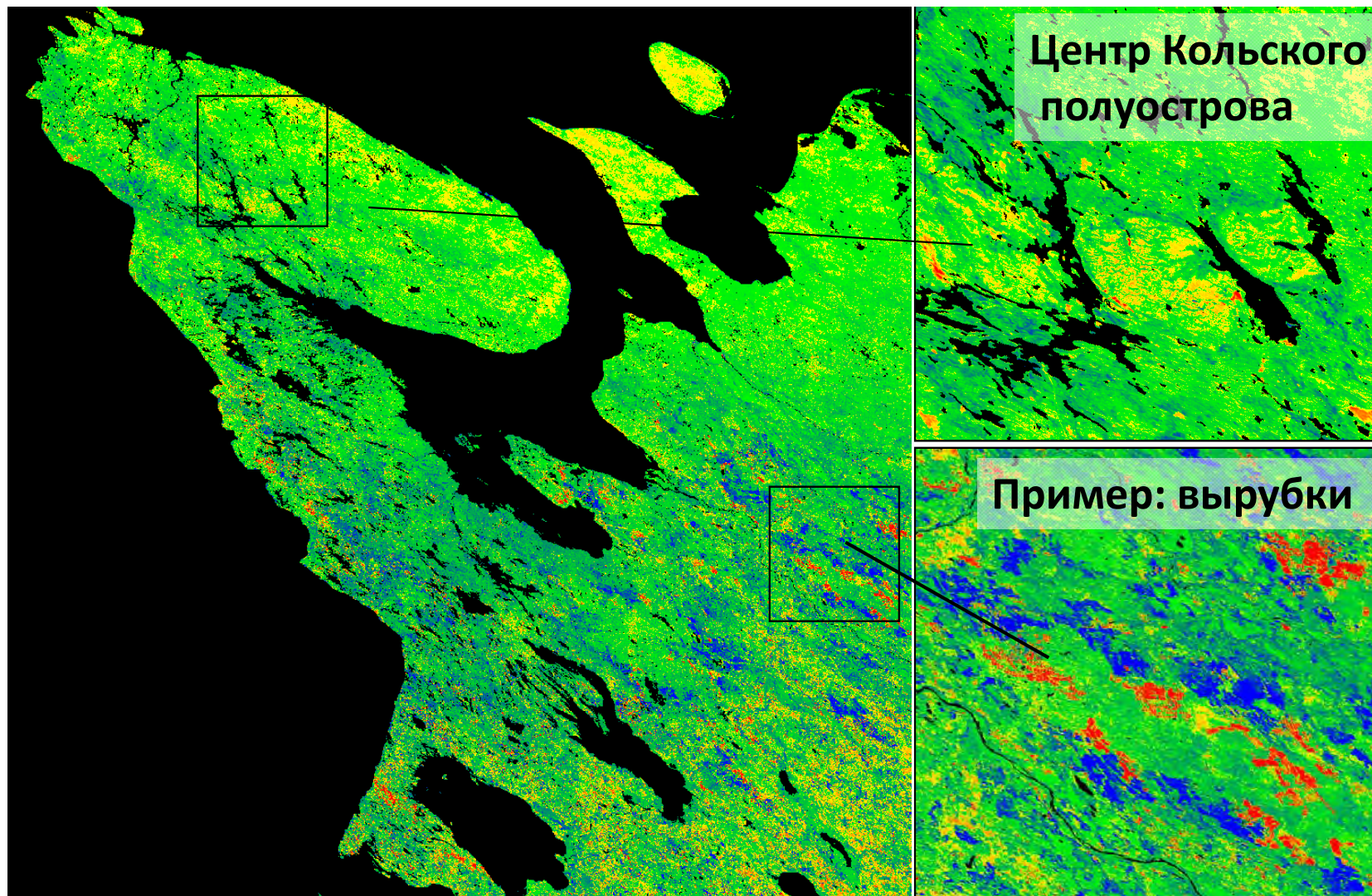
# Модельные территории в 2018 г.



Хибинская учебно-научная база географического факультета МГУ

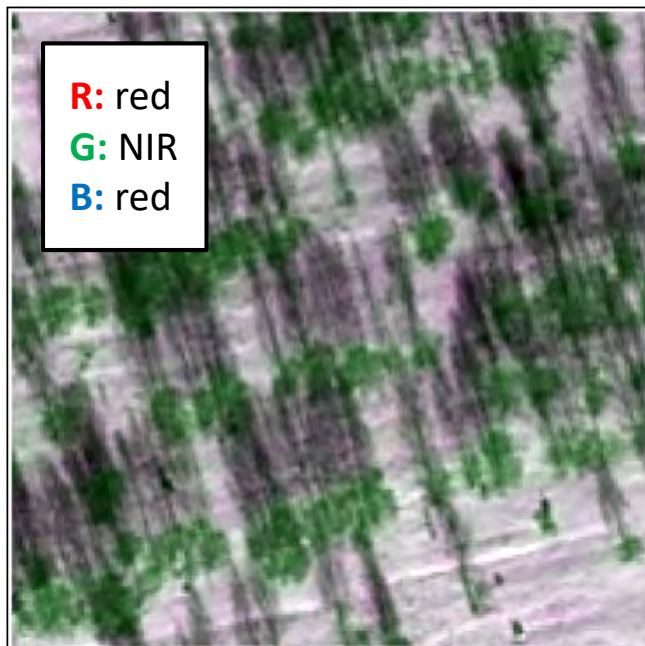


**Выбор модельных территорий на основе трендов КСЯ в красном канале на зимних снимках MODIS за 2000-2017 гг. (увеличение древесной фитомассы – зелено-синяя гамма, уменьшение – оранжево-красная)**

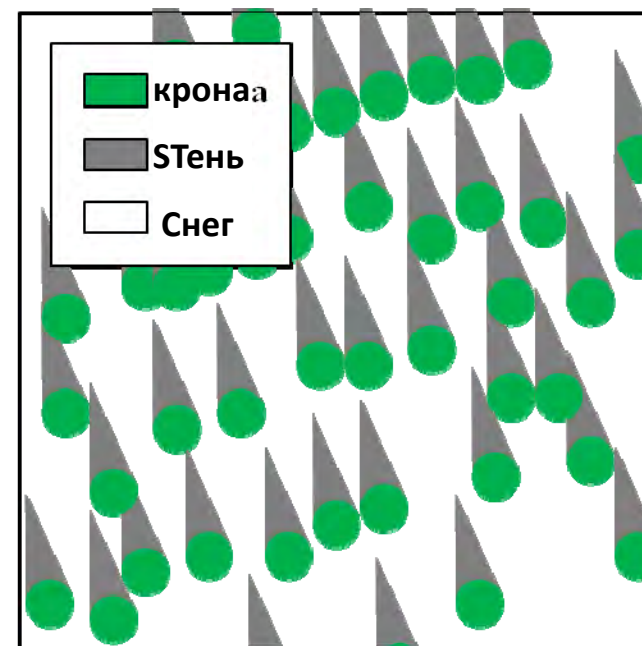


Методика: Барталев С.А., Егоров В.А.,  
Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников  
Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В.  
Спутниковое картографирование  
растительного покрова России. - М.:  
ИКИ РАН, 2016. - 208

# Моделирование запаса стволовой древесины по зимним композитным снимкам MODIS в красном диапазоне



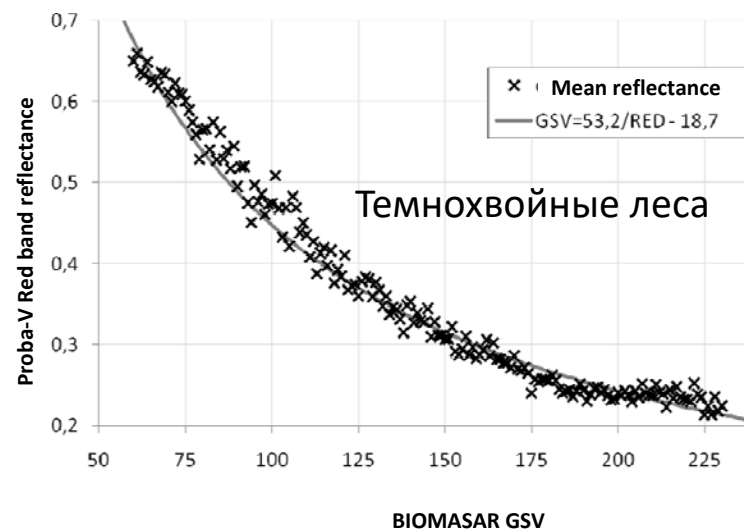
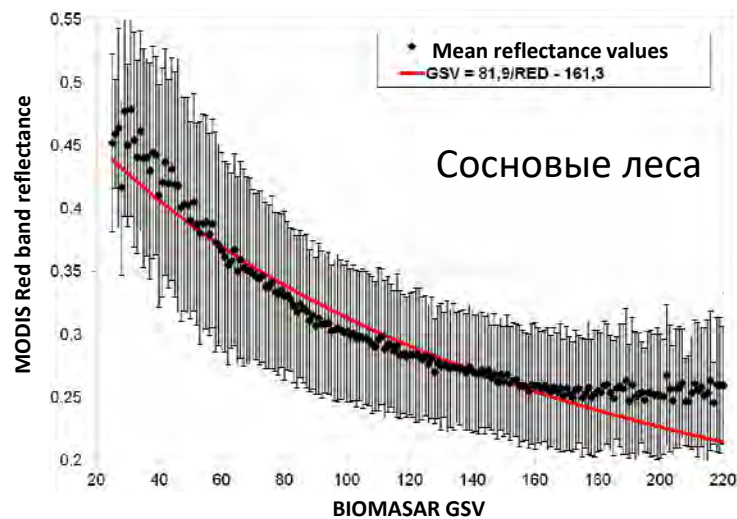
Снимок GeoEye (после повышения  
Пространственного разрешения)



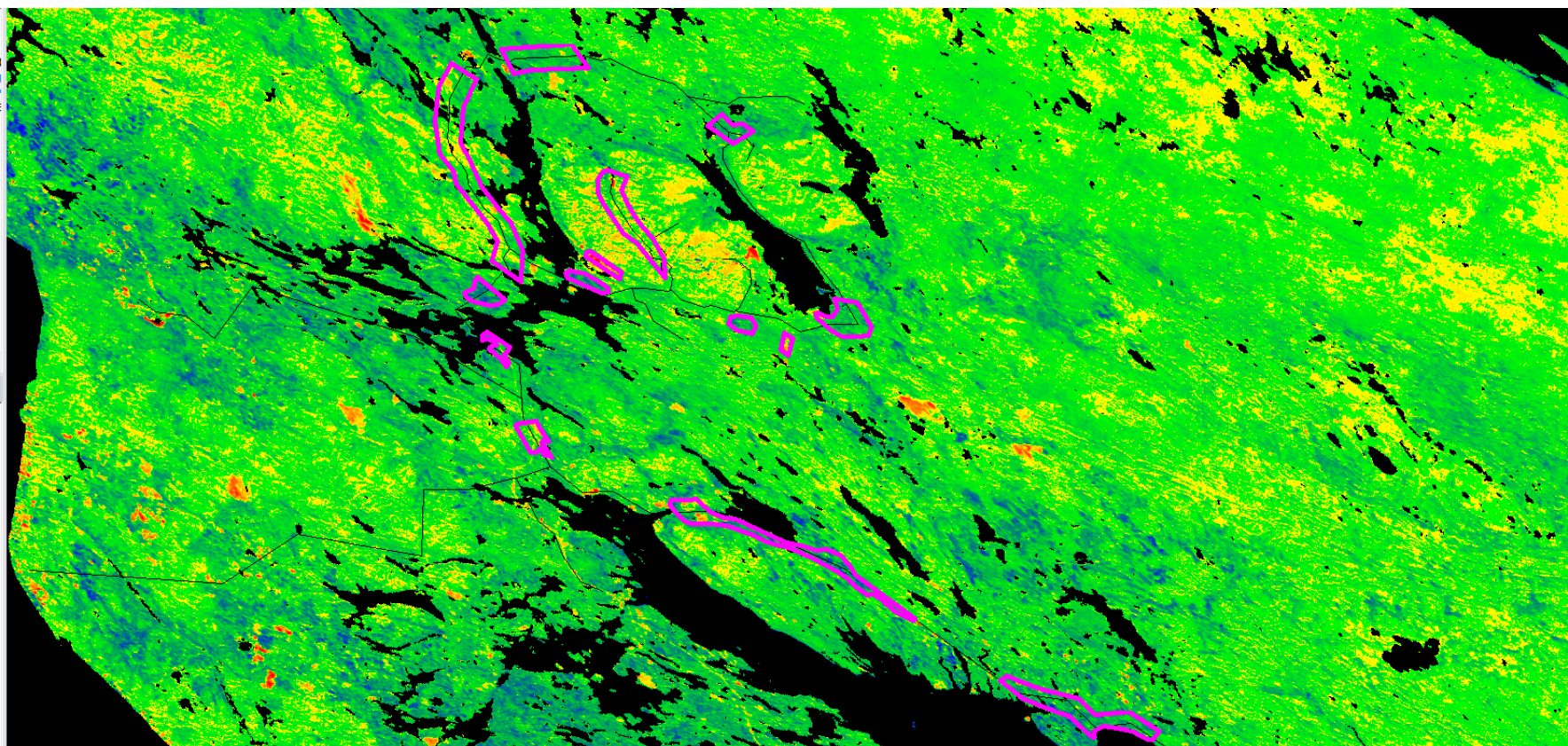
Модель



# Моделирование взаимосвязи GSV и КСЯ в красном канале

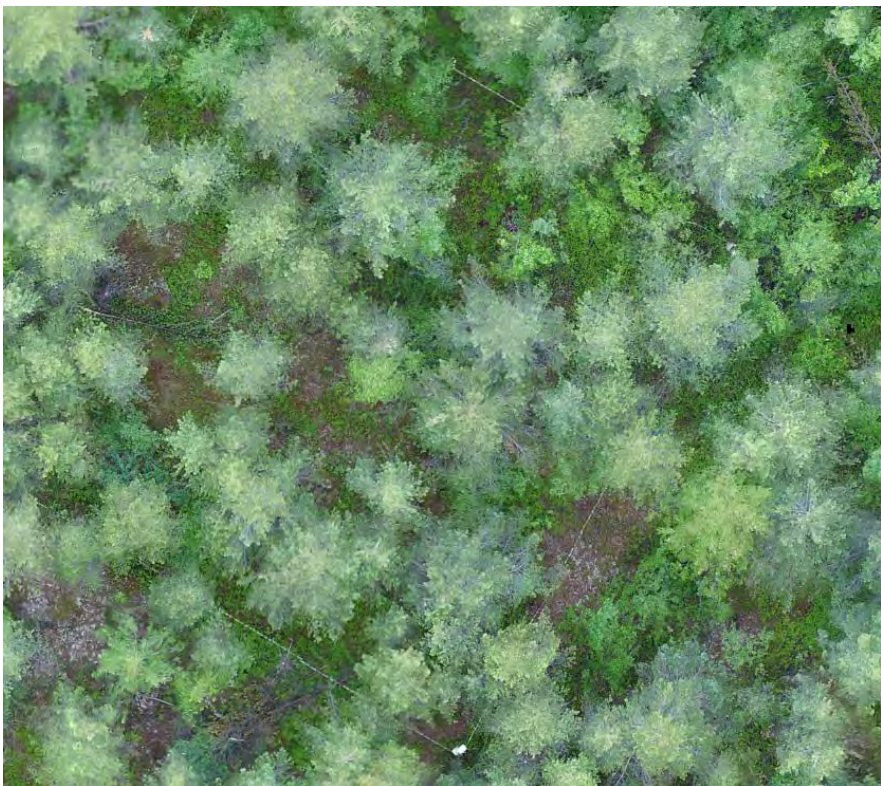


## Выбор модельных территорий



Розовые контуры – участки с высокой динамикой вблизи дорог. Всего было изучено 28 участков размером 20x20 м.

## Площадка Kola03



Сосновый лес с примесью березы

## Площадка Kola16



Разреженный березово-еловый лес

## Наземные исследования и обработка данных БПЛА-съемок

- Геоботанические описания, в том числе измерения диаметров и высот деревьев, плотности и запаса древостоев, измерение и фотографирование крон деревьев
- Отбор проб фитомассы с учетом горизонтальной структуры сообществ
- Измерение LAI фотоспособом («рыбий глаз»\_ по площадке в целом, разрушающим способом для отдельных деревьев в подросте
- Цветная съемка с БПЛА с высот 50 и 100 м (на ряде участков также гиперспектральная БПЛА-съемка)
- фотограмметрическая обработка изображений БПЛА, получение ЦММ, ЦМР, моделей высоты крон, карт проективного покрытия
- Сопоставление результатов обработки съемок БПЛА и полевых данных

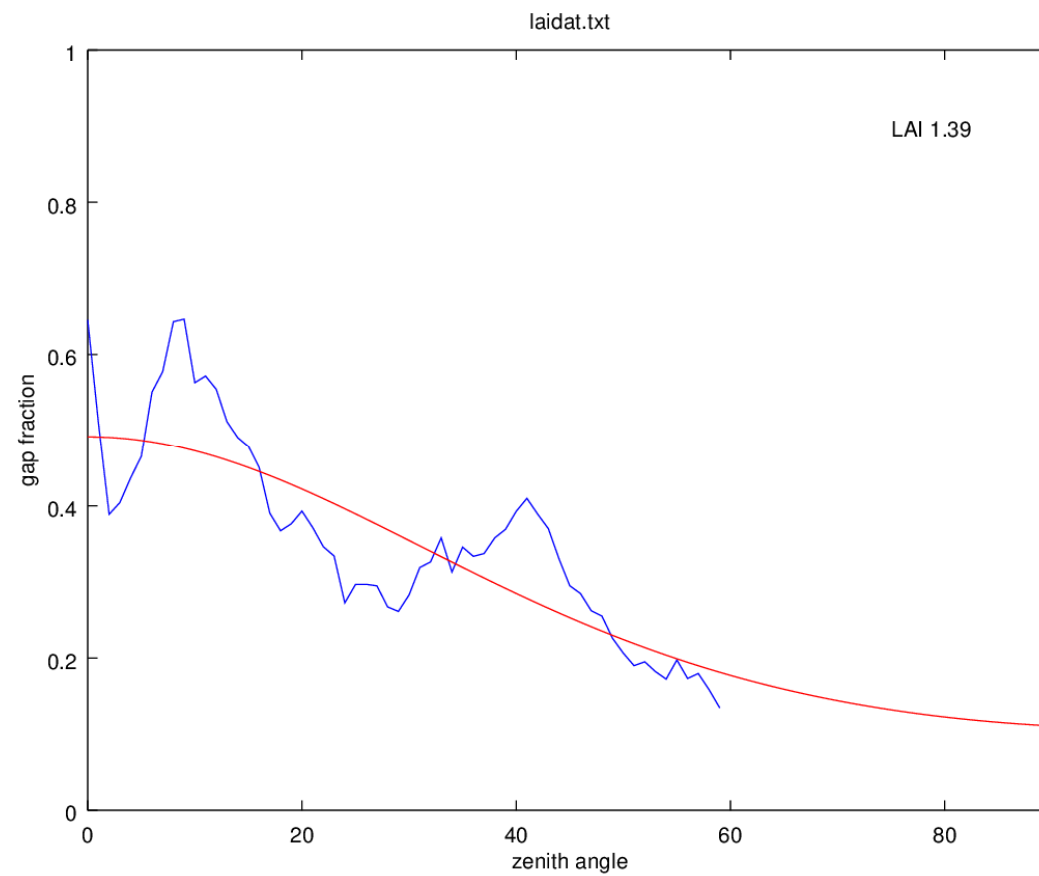


## Наземные измерения



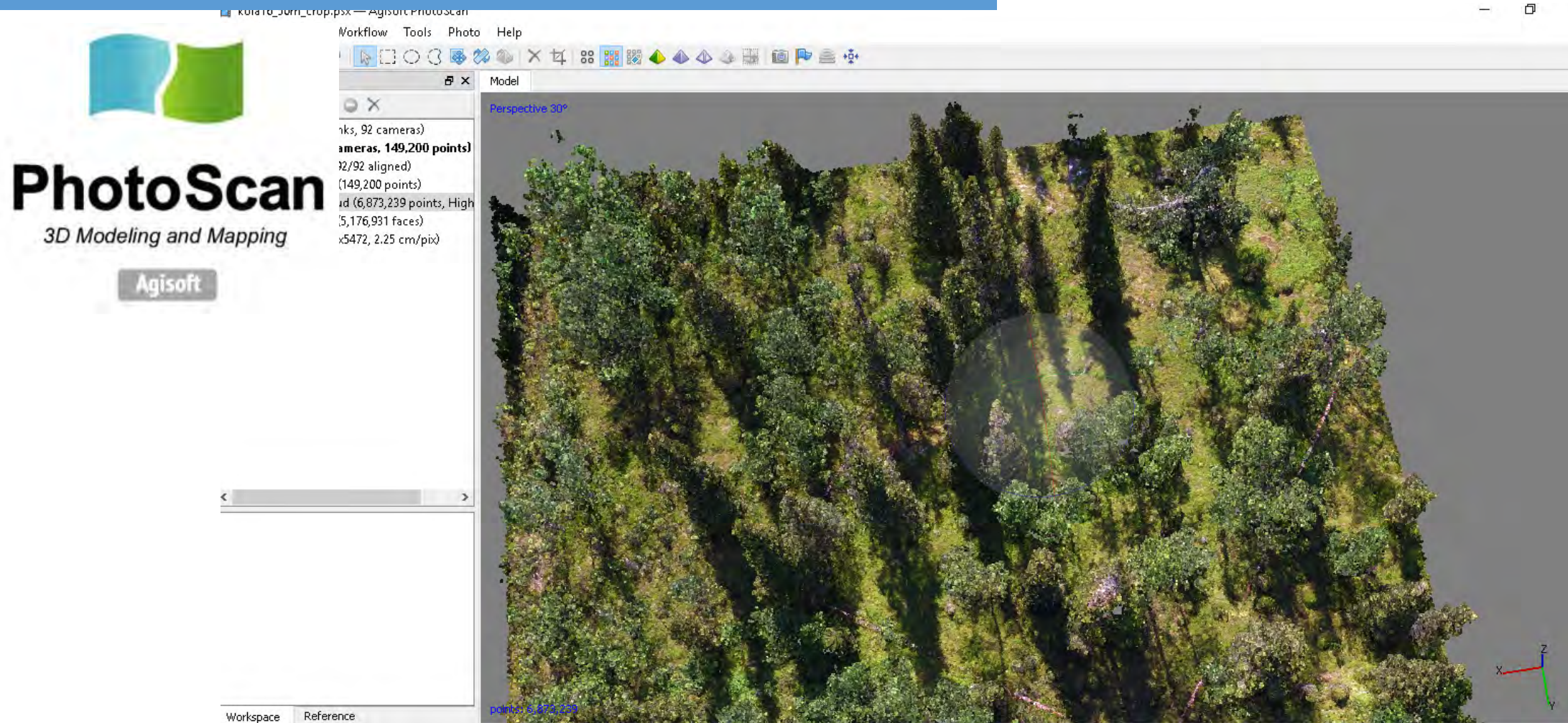
- Высота деревьев (клинометром)
- Высота прикрепления крон
- Диаметр ствола на 1,3 м
- Размеры (размах) кроны по 4 румбам
- Измерение полноты древостоев вилкой Беттерлиха
- Измерение LAI фотографическим методом

# Определение LAI фотоспособом

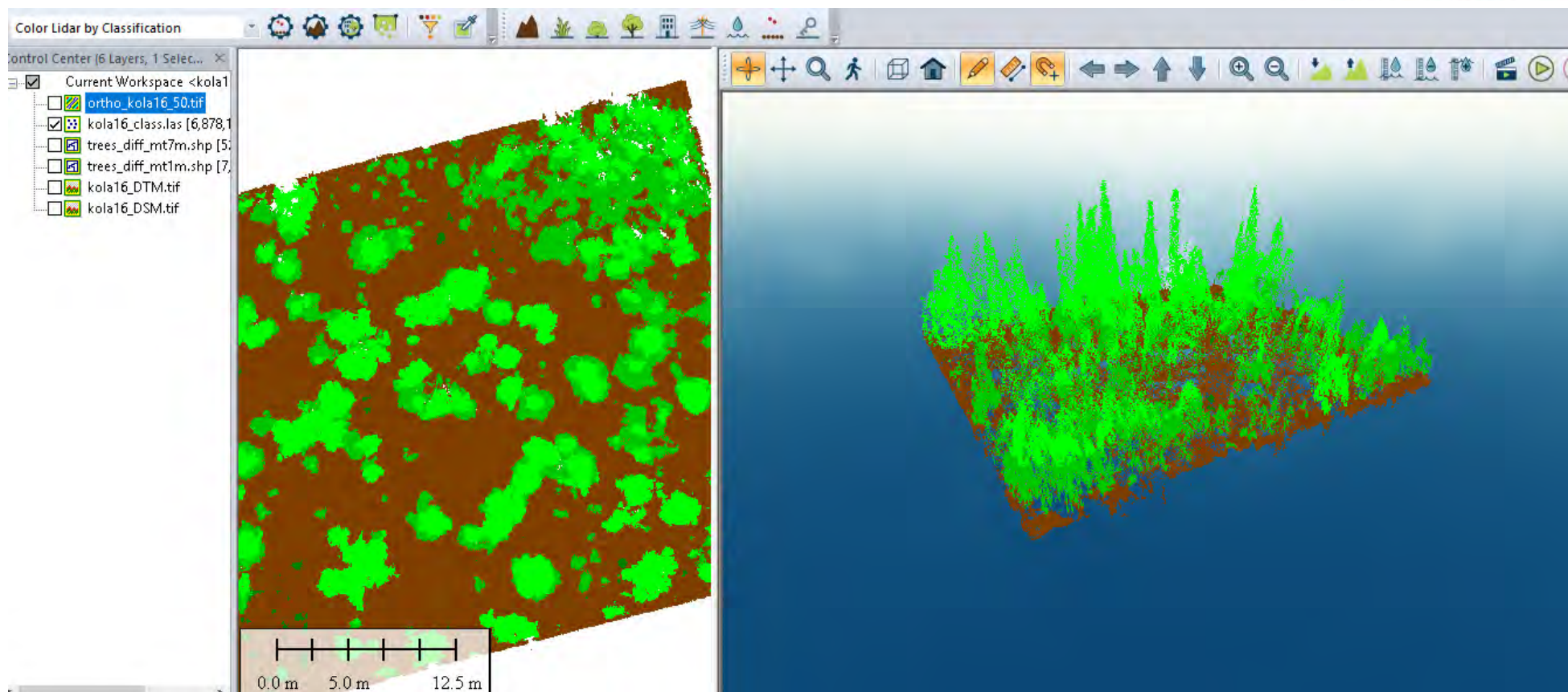




# Построение плотного облака точек



# Выделение древесного яруса и грунта



# Трехмерная визуализация древостоев

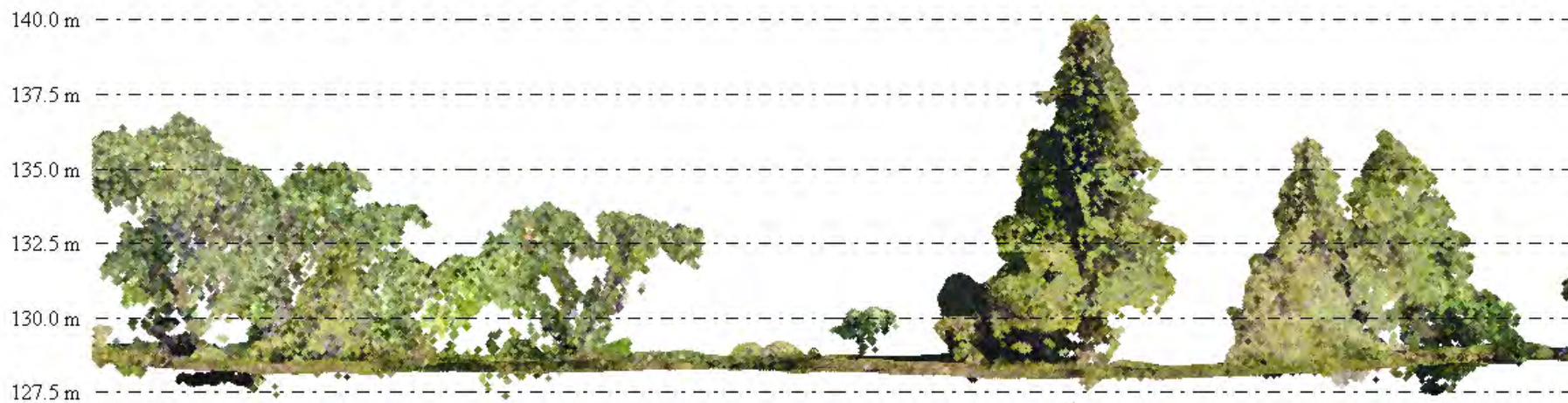
From Pos: 540918.331, 7489270.204

To Pos: 540906.844, 7489254.052



From Pos: 540893.300, 7489262.868

To Pos: 540909.101, 7489253.049

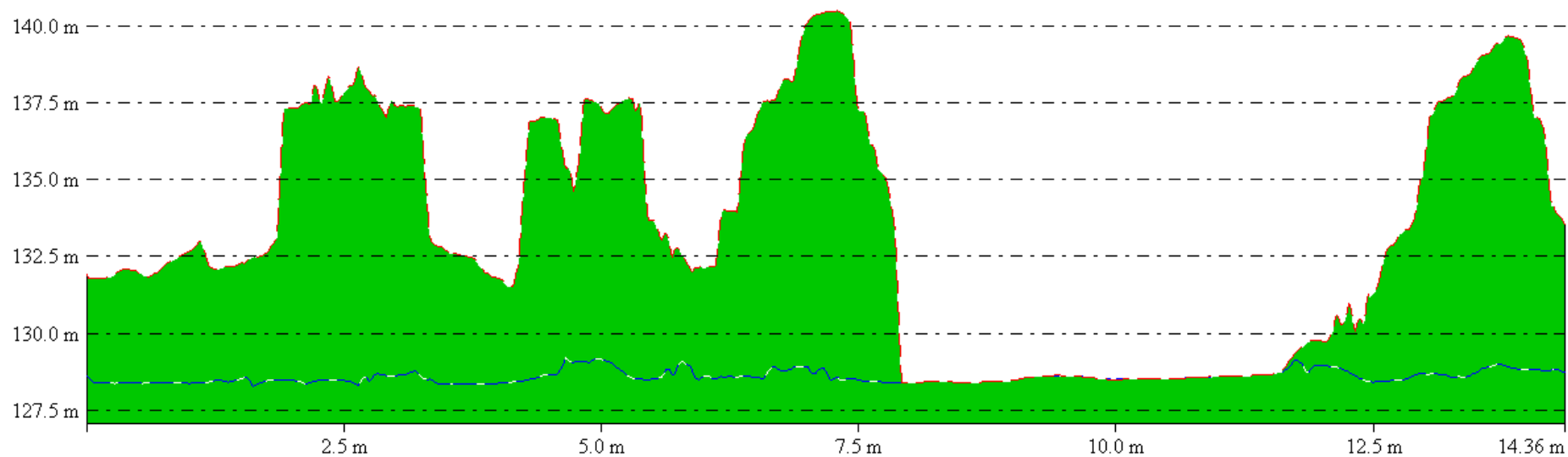


# Оценка объемов древостоя (с перспективой перехода к запасам фитомассы)

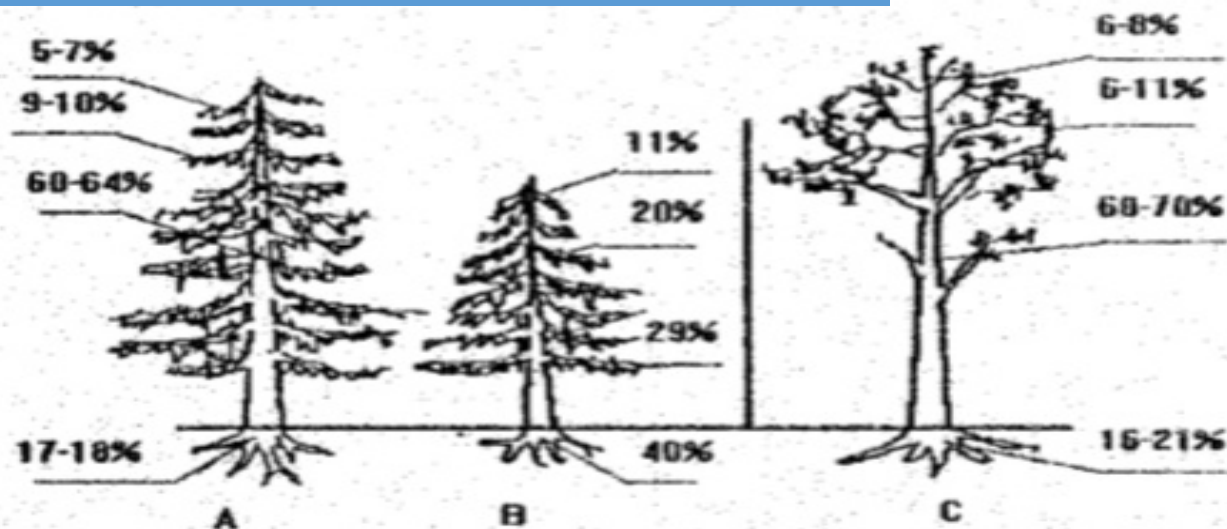
Cut Volume: 1798.7518 cubic meters  
MAX\_Z\_DELTA: 13.535 m

From Pos: 540907.181, 7489255.770

To Pos: 540915.232, 7489267.659



## Структура фитомассы ели и сосны в различных условиях на Кольском полуострове

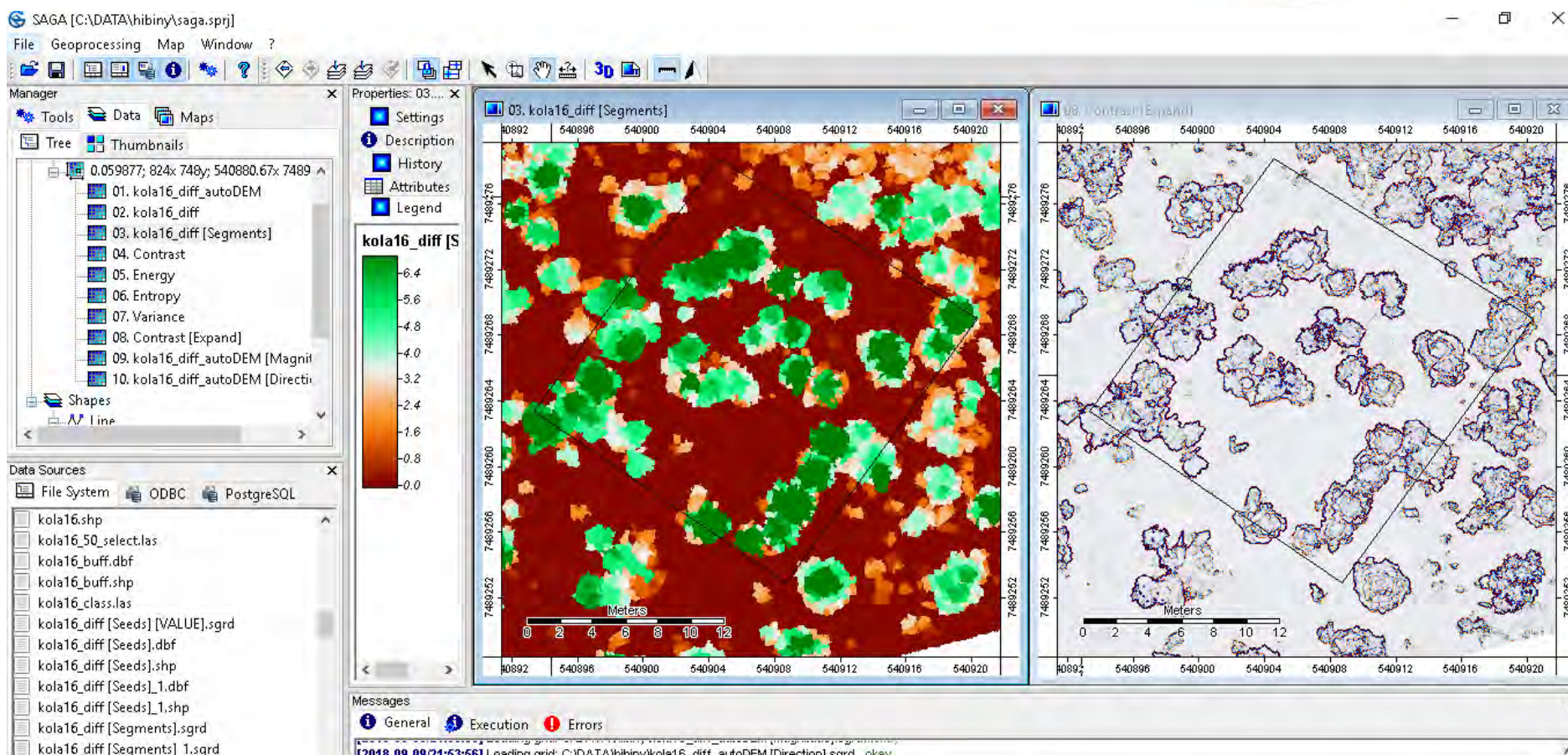


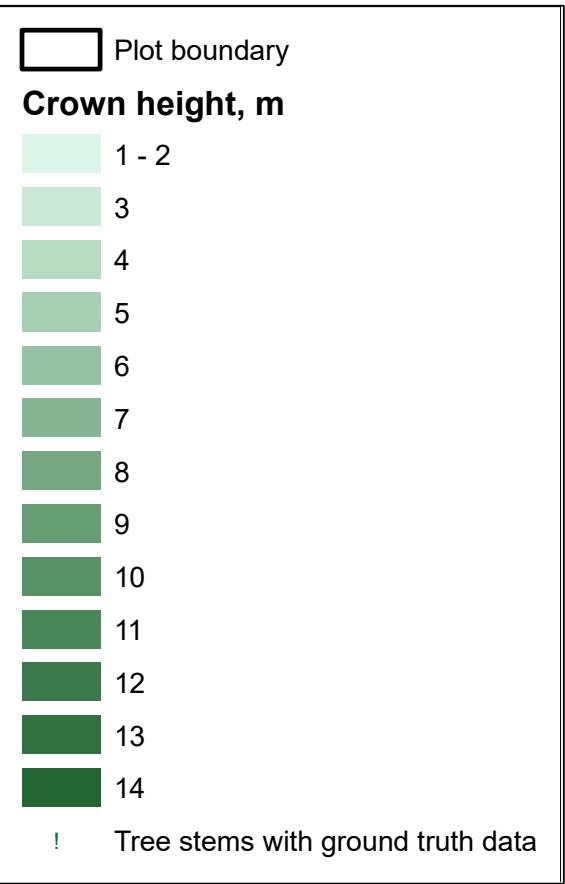
- А - еловые кустарничково-зеленомошные биогеоценозы
- В - еловые болотные биогеоценозы
- С - сосновые лишайниковые биогеоценозы

Рис. 4. Структура фитомассы ели и сосны в различных условиях произрастания.

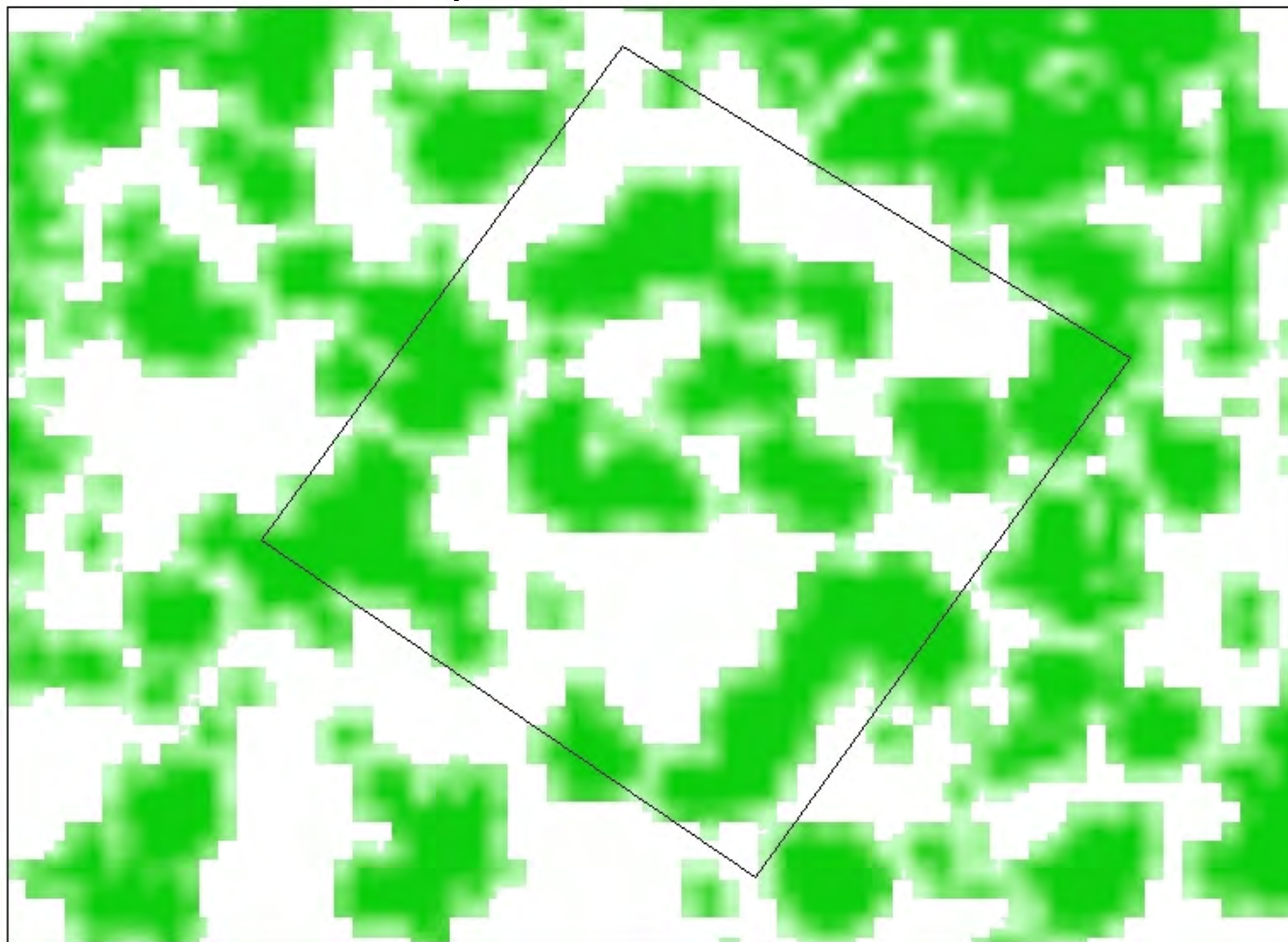
Источник: Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 1994. 315 с.

# Выделение крон деревьев и оценка высот





Сомкнутость крон , % (коля 16)  
17,2% - в среднем по площадке



1:200

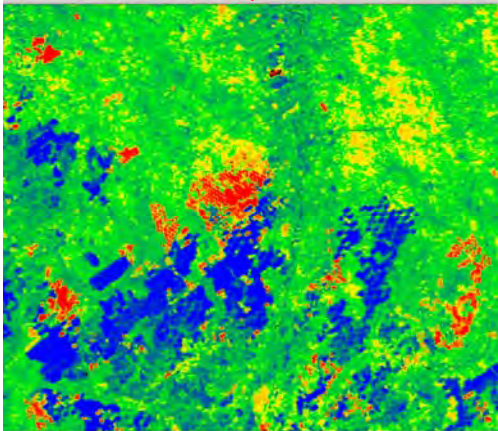
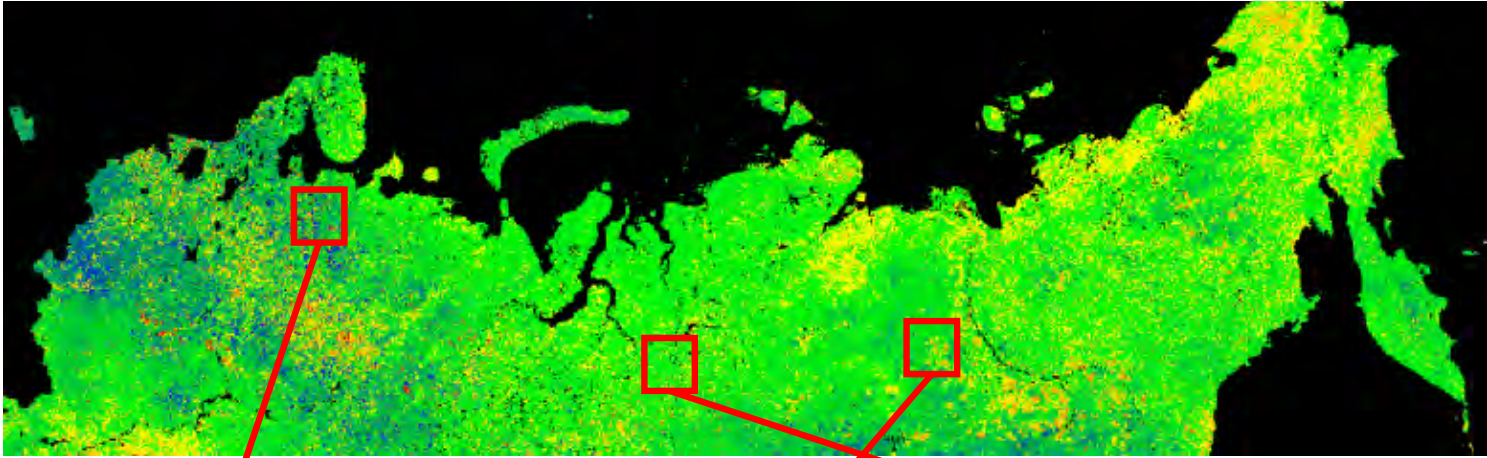


номер дерева	Порода	Высота дерева по наземным измерениям, м	высота дерева по фотограм- метрическим измерениям, м	разница, м
1	Picea fennica - Spruce	11.75	11.31	0.44
2	Picea fennica - Spruce	9	8.47	0.53
3	Picea fennica - Spruce	16	12.08	3.92
4	Picea fennica - Spruce	11	9.68	1.32
5	Picea fennica - Spruce	7.75	8	0
6	Picea fennica - Spruce	8	6.56	1.44
7	Picea fennica - Spruce	9.5	7.9	1.6
8	Picea fennica - Spruce	7	6.08	0.92
9	Betula pubescens Birch	6	6.85	0.85
10	Betula pubescens- Birch	9.5	8.08	-1.42
11	Betula pubescens- Birch	5.25	6.09	-0.84
12	Picea fennica- Spruce	14	11.3	2.7
13	Picea fennica -Spruce	5.5	4.47	1.03
14	Picea fennica - Spruce	10.8	10.8	0
15	Betula pubescens Birch	9	8.8	0.2
16	Betula pubescens- Birch	8.5	6.85	1.65
17	Picea fennica- Spruce	5	4.6	0.4
18	Betula pubescens- Birch	9	7.09	1.91
19	Picea fennica Spruce	5	5.5	0.5

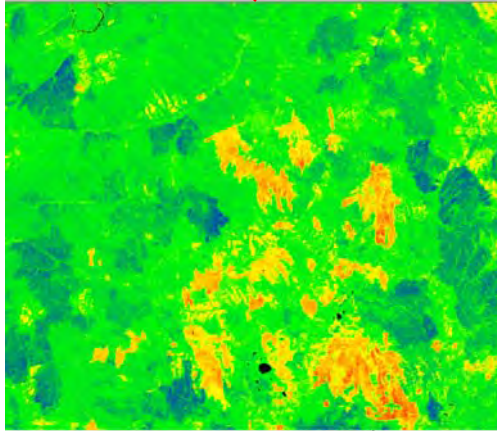
Сопоставление наземных  
данных и результатов  
обработки съемок с БПЛА  
– пока в процессе

Участок	Сомкнутость по полевым данным, %	Сомкнутость по данным БПЛА, %	Разница, %
Kola 03	10	17,2	7,2
Kola 16	40	34,6	6,6

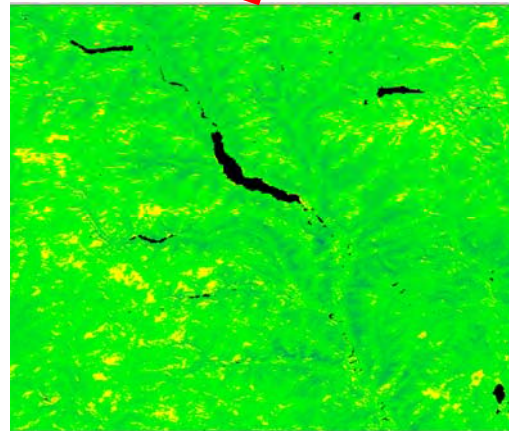
# Предварительные результаты - изменения стволовой фитомассы по данным съемки MODIS



Вырубки

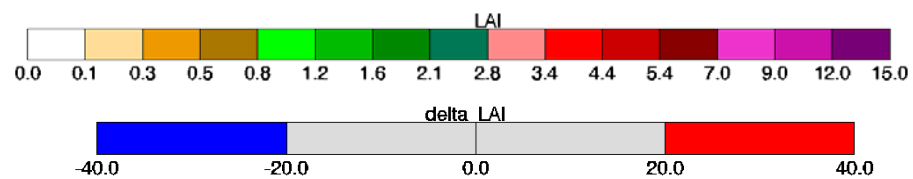
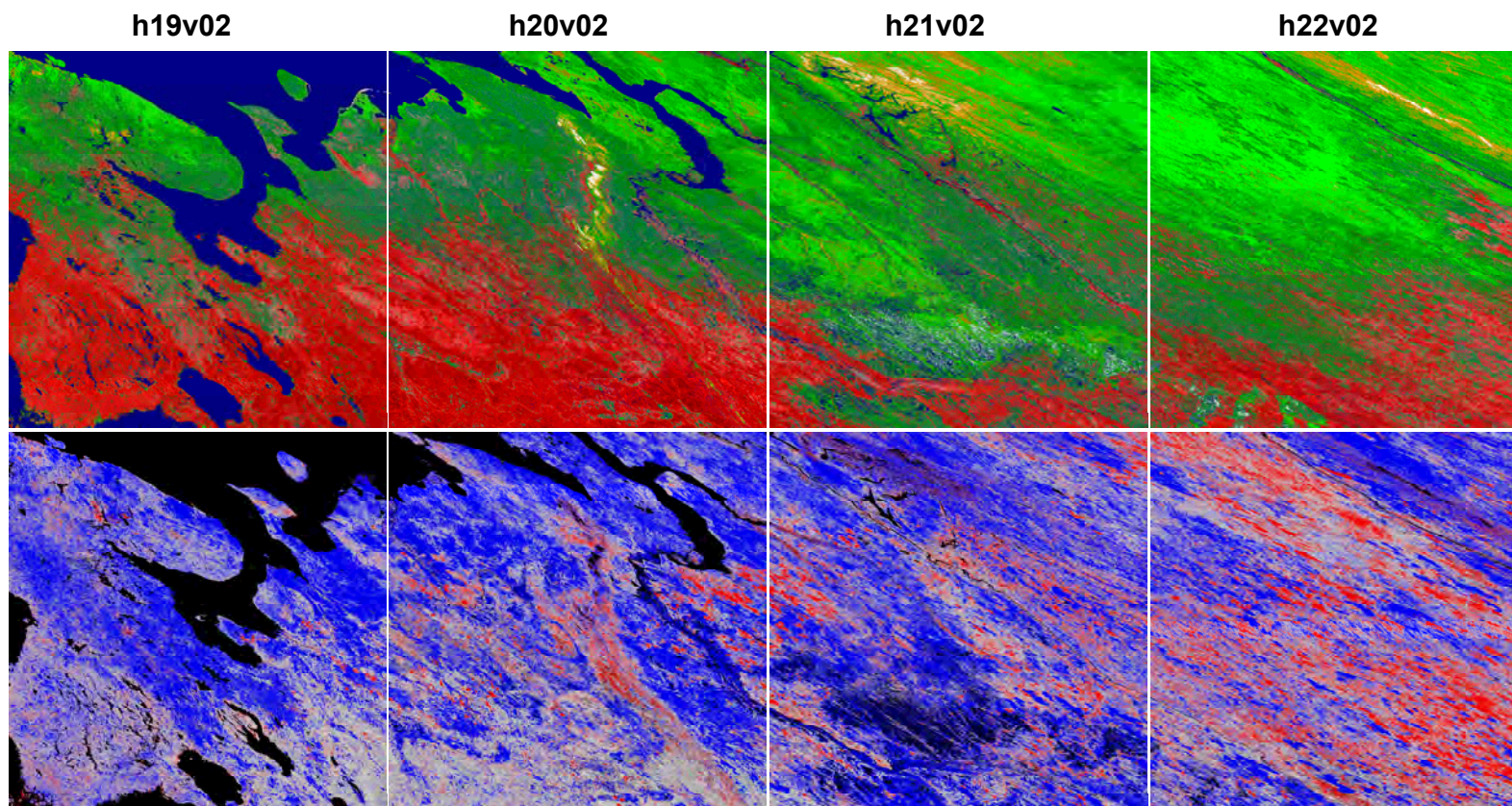


Пожары

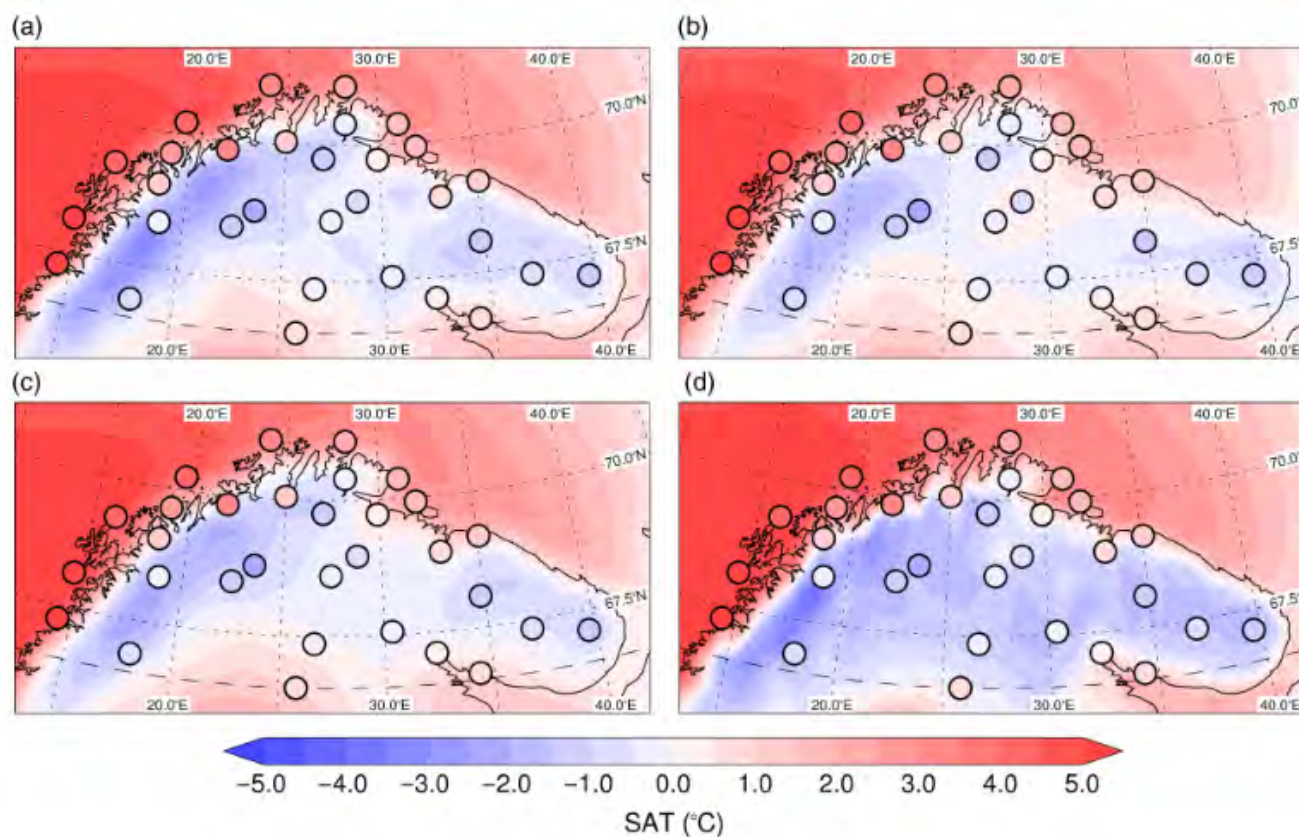


Увеличение фитомассы?

# Предварительные оценки среднего MODIS LAI и изменения LAI за 2000-2018



## Выбор оптимальных баз данных реанализа (на примере среднегодовой температуры)



**FIGURE 2** Mean annual SAT for 1979–2013 in (a) CFSR, (b) ERA-Interim, (c) JRA-55, and (d) MERRA. Circles represent equivalent station observations [Colour figure can be viewed at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com)]

## Итоги 2018 г. и планы

Для модельных территорий на Кольском полуострове (леса с участием сосны, ели и березы) разработаны предварительные методики измерений характеристик древостоев по наземным измерениям и данным съемок с БПЛА

Получены предварительные результаты анализа многолетних серий LAI и запасов стволовой фитомассы по данным съемки с MODIS с 2000 г.

Выбраны наборы климатических данных (для Кольского полуострова)

Определяются методики масштабирования (от наземных измерений к данным MODIS)

2019: начало работ на модельных территориях северо-востока России

Спасибо за внимание!

