

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

**УТОЧНЕНИЕ ОЦЕНОК ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ
СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСНОГО ПОЛОГА ЛЕСА
ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ ВЫСОКОГО
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ SENTINEL-2**

Ховратович Т.С., Барталев С.А., Егоров В.А., Ворушилов И.И.

Москва 2021

Показатели горизонтальной структуры лесов

Название	Определение		Область применения
<i>Лесистость</i>	Отношение покрытой лесом площади к общей площади территории	$L \stackrel{\text{def}}{=} \frac{S_{\text{лес}}}{S}$	Макро уровень (лесхоз, район, страна)
<i>Проективное покрытие древесного полога</i>	Отношение сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев к занимаемой площади	$TC \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{i=1}^n S_{\text{кр}}^i}{S}$	Макро (лесхоз, район, страна) и локальный (выдел, насаждение) уровни
<i>Сомкнутость крон</i>	Отношение сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев с учетом их перекрытия и без учета просветов внутри крон к занимаемой площади	$fTC \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\sum_{i=1}^n (S_{\text{кр}}^i + S_{\text{внтркр}}^i)}{S_{\text{лес}}}$	Локальный уровень (выдел, насаждение)

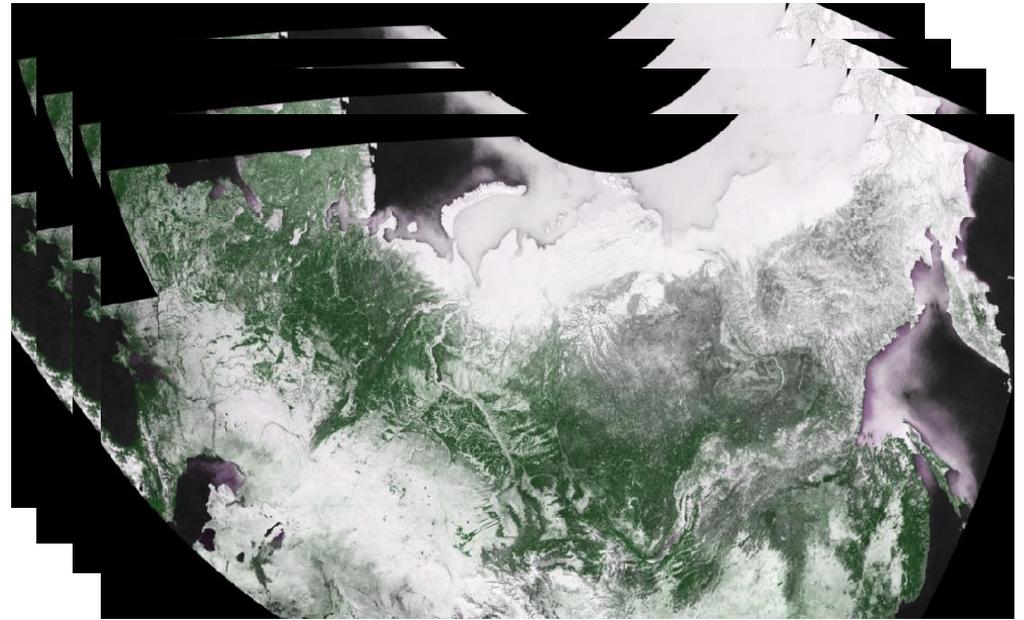
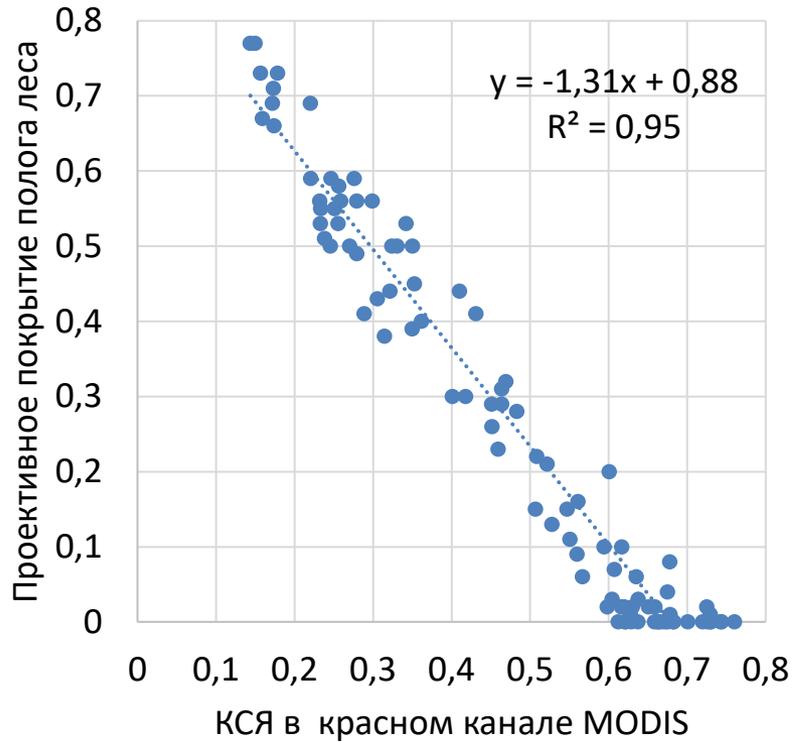
где $S_{\text{лес}} = S_{\text{межкр}} + \sum_{i=1}^n (S_{\text{кр}}^i + S_{\text{внтркр}}^i)$, $S_{\text{межкр}}$ – площадь, не покрытая кронами деревьев (без учета просветов внутри крон), $S_{\text{кр}}^i$ – площадь кроны i -го дерева без просветов внутри кроны, $S_{\text{внтркр}}^i$ – площадь внутрикроновых просветов для кроны i -го дерева, μ – величина, характеризующая светопроницаемость кроны для рассматриваемой породы, то есть $S_{\text{внтркр}}^i = \mu S_{\text{кр}}^i$.

Взаимосвязь показателей выражается соотношением :
$$TC = \frac{fTC}{1 + \mu} L$$

Показатели горизонтальной структуры лесов (ГСЛ)

- Распределения лесов на поверхности Земли задается их вертикальной и горизонтальной структурой. Под горизонтальной структурой понимают плотности покрытия земной поверхности элементами древесной растительности.
- Для оценки горизонтальной структуры лесов обычно используют показатели лесистости, проективного покрытия полога, сомкнутости крон и некоторые другие. Для обеспечения возможности оценивания по спутниковым данным допустим что для определенной породы отношение межкроновых просветов и светонепроницаемых элементов кроны постоянно. Тогда можно вывести соотношение между показателями, представленное на слайде.
- Существует целый ряд задач мониторинга лесов по спутниковым данным, для решения которых необходима информация о показателях горизонтальной структуры лесов. Это задачи выявления изменений в лесах, оценки скорости лесовосстановления на рубках и гарях, оценка степени зарастания лесом заброшенных сельскохозяйственных угодий, оценка влияния климатических изменений на распространение лесов, а также задачи, связанные с оценкой бюджета углерода лесов.
- Были разработаны методы оценки показателей горизонтальной структуры лесов по данным среднего пространственного разрешения MODIS с наличием снега на земной поверхности.

Используемые спутниковые данные для построения показателей ГСЛ

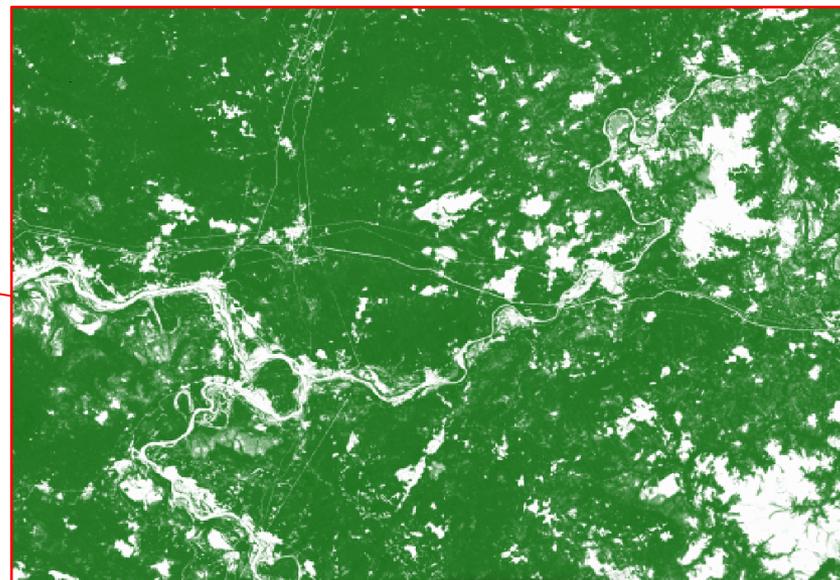
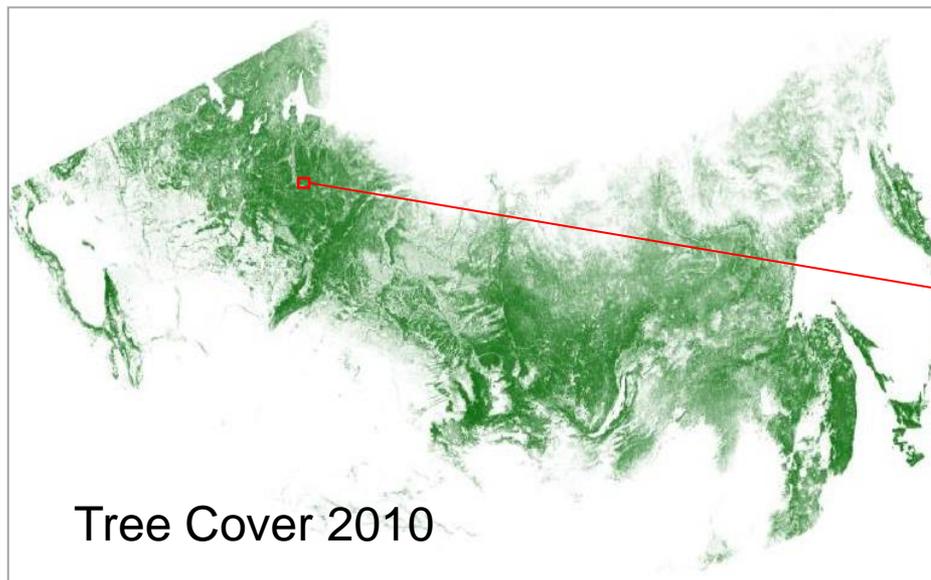


Временной ряд композитных изображений MODIS с наличием снежного покрова



- Сформирован временной ряд композитных изображений, очищенных от облаков и теней, с наличием снежного покрова с 2001 по 2020 год
- Проведена локально-адаптивная взаимная нормализация построенного набора данных для устранения межгодовых неоднородностей, вызванных глубиной и состоянием снежного покрова

Опорная информация о проективном покрытии древесного полога леса



Характеристика
данных

Доля проективного покрытия кронами деревьев выше 5 м в пикселе данных

Основные
особенности

- ✓ Исходные данные - Landsat 7 (ETM +)
- ✓ Пространственное разрешение – 30 м.

Источник данных

GLAD UMD (<https://glad.umd.edu/>)

Hansen et al. (2013) High-resolution global maps of 21-st-century forest cover change. Science, 342, 850-853.

Точность

✓ **94.5%**

Zhang D. et al. (2020). Accuracy assessment of the global forest watch tree cover 2000 in China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2020, 87, 102033

Используемые спутниковые данные для построения показателей ГСЛ

- Разработанные методы основаны на использовании уравнения связи между характеристиками ГСЛ*, а также зависимостью между КСЯ земной поверхности в красном и ближнем инфракрасном каналах MODIS и проективным покрытием полога леса.
- Выбор данных прибора MODIS обусловлен ежегодной периодичностью построения характеристик с 2000 по настоящее время, пространственным охватом, а также необходимостью попиксельного согласования с другими продуктами нашей лаборатории.
- В качестве опорной информации о пространственном распределении лесов выбран продукт Tree Cover 2010, распространяемый лабораторией GLAD Университета штата Мериленд. Данные отражают плотность покрытия кронами деревьев в пикселе по состоянию на 2010 год с пространственным разрешением 30м. Продукт неоднократно валидировался и использовался научным сообществом и имеет достаточно высокую точность согласно опубликованным данным.
- * представлено на слайде 2

Особенности опорных данных

Фрагмент данных Sentinel-2 с наличием снежного покрова



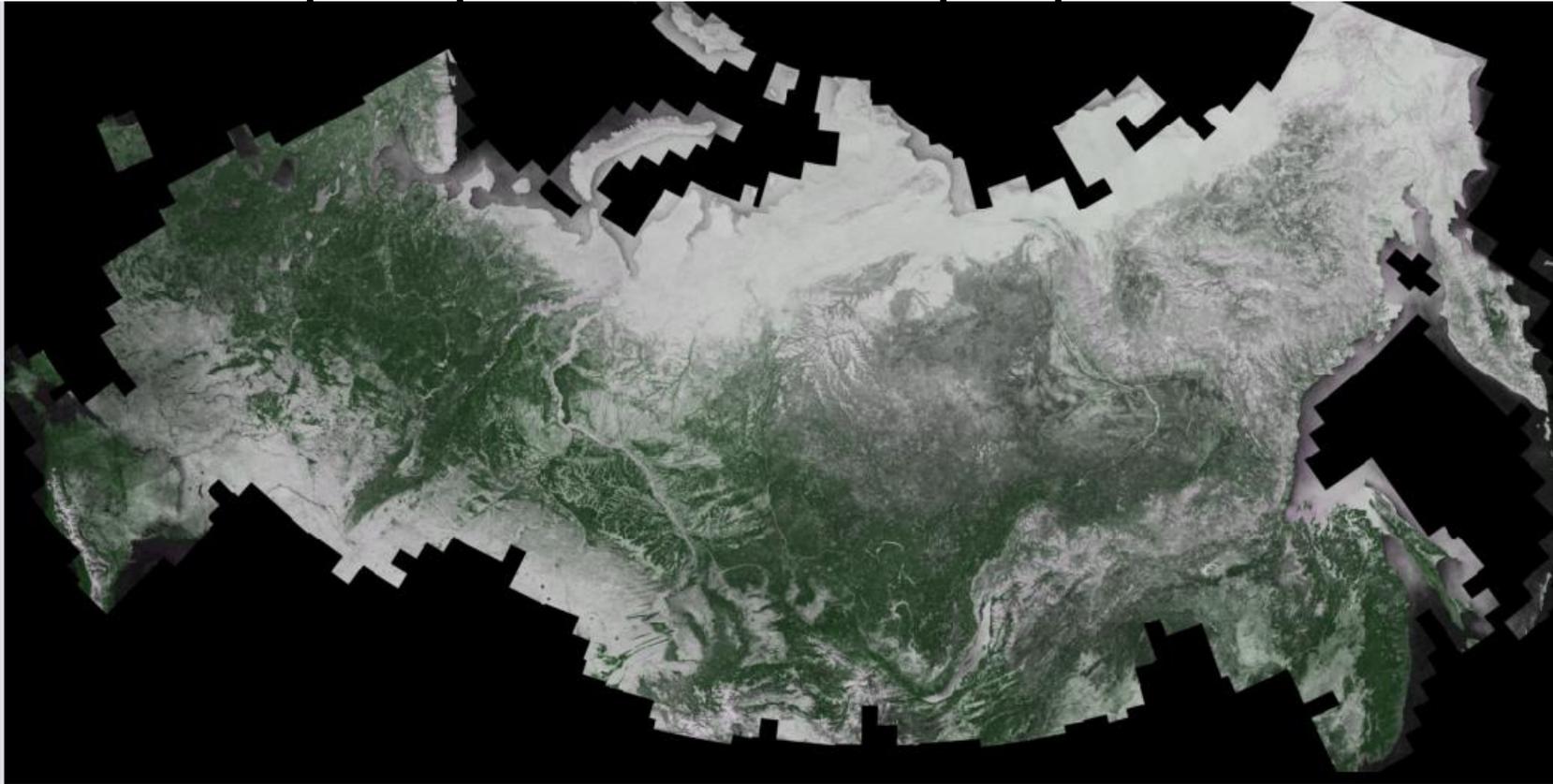
Синтез каналов
0.65 0.86 0.65 мкм

Маска ненулевых значений данных Tree Cover 2010 на данных высокого пространственного разрешения



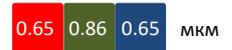
- Пропуск древесно-кустарниковой растительности, в том числе из-за ограничения по высоте
- Характерные полосы, вызванные сбоем сенсора ETM+

Используемые спутниковые данные высокого пространственного разрешения



Композитное изображение Sentinel-2 с наличием снежного покрова

Синтез каналов



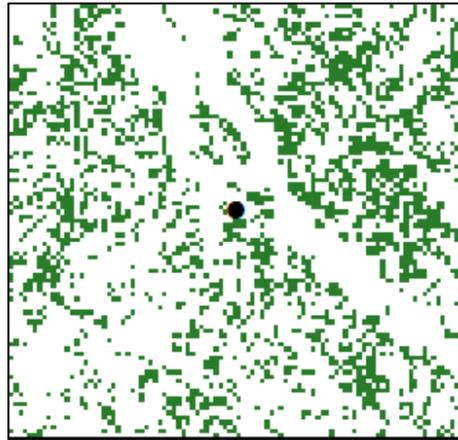
- Пространственное разрешение 30 м
- Временной охват с 2018 по 2020 годы
- Используются ежедневные данные Sentinel-2 с 1.01 по 30.04
- Метод построения - *Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России.*

Особенности опорных данных высокого пространственного разрешения

- Был проведен анализ построенных рядов показателей ГСЛ и их сравнение с другими источниками данных о пространственном распределении лесов. Оказалось, что большие по площади массивы редкой лиственницы и кустарника имеют нулевое проективное покрытие полого леса по данным Tree Cover 2010, что проиллюстрировано на слайде 7. Такого рода участки расположены достаточно локально. Поэтому несмотря на проводимую локальную статистическую фильтрацию исходных опорных данных, указанные особенности существенно влияют на получаемый результат и приводят к недооценке проективного покрытия и лесистости на территориях, покрытых редкой лиственницей и кустарником.
- Для исключения подобных участков из опорной выборки было использовано композитное изображение, построенное для территории нашей страны на основе ежедневных данных Sentinel-2 с наличием снежного покрова на земной поверхности. При построении были использованы данные 2018, 2019 и 2020 годов с января по апрель. Описание метода построения композитного изображения можно найти в монографии, указанной на слайде 8 .

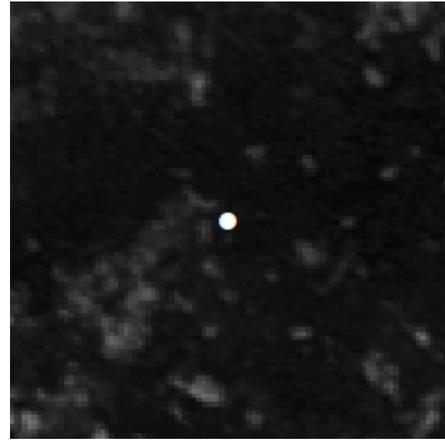
Статистическая фильтрация выборки

Выборка элементов
определенного класса



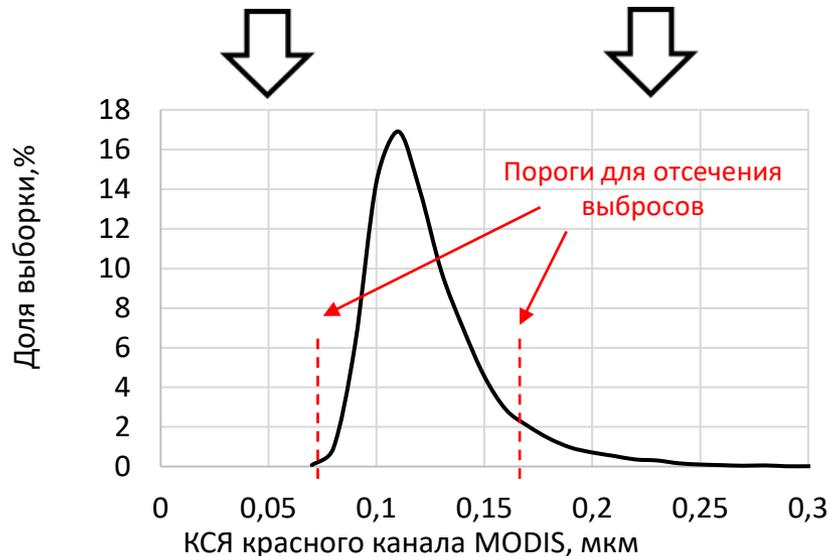
Фрагмент выборки для проективного покрытия 0.84

Анализируемый признак



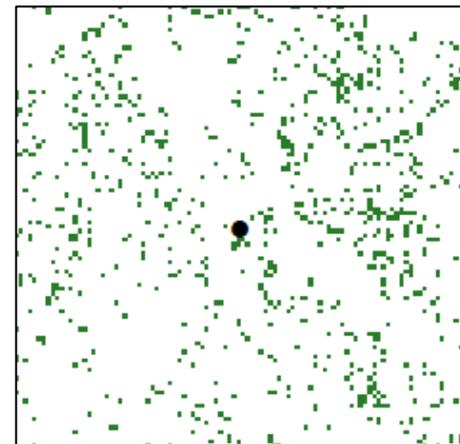
Фрагмент КСЯ красного канала MODIS 2010

Пороги для отсекания выбросов рассчитываются по выборке, например, как оценка среднего значения \pm стандартное отклонение от среднего



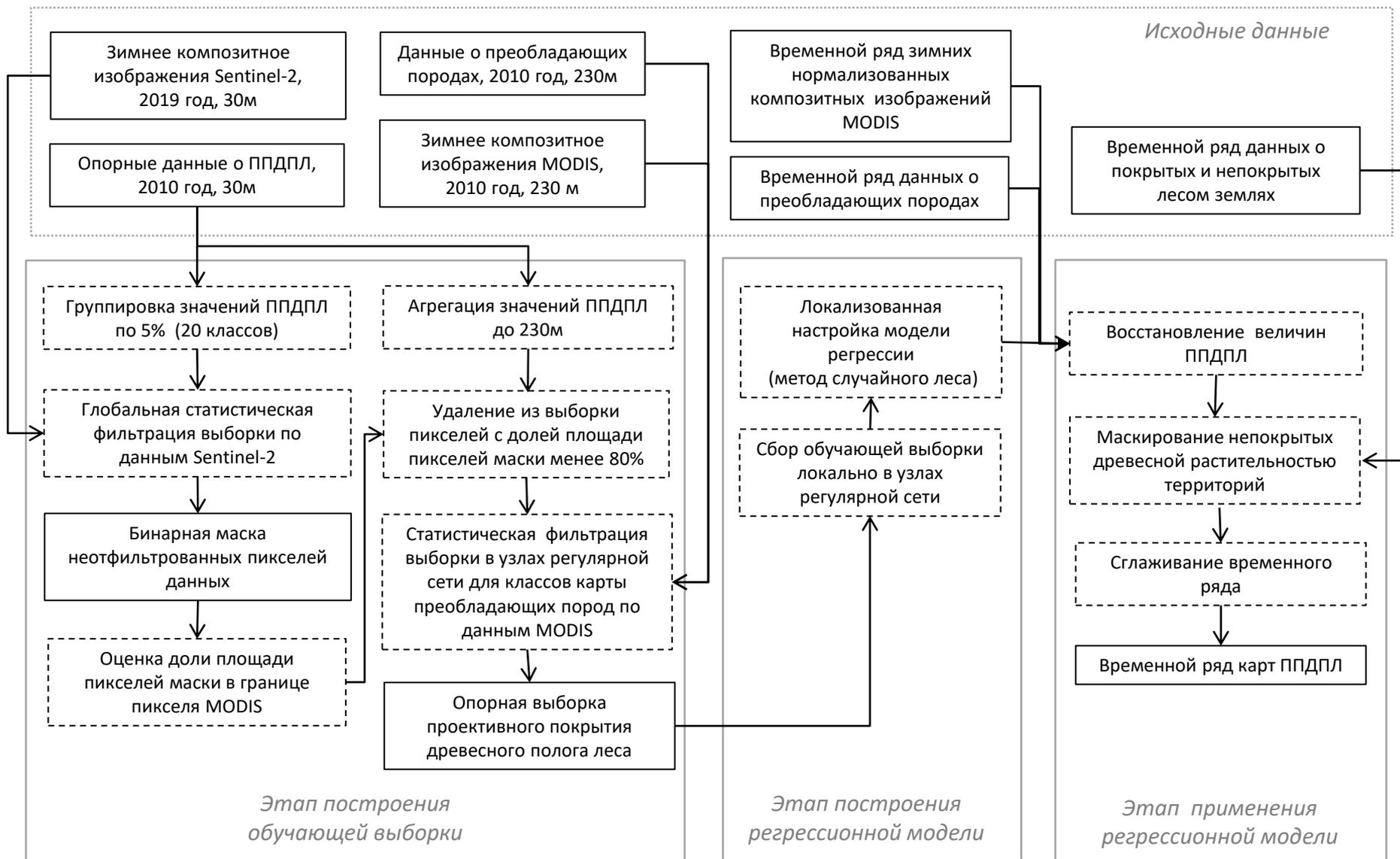
Удаление элементов со значением признака, выходящим за пороги

Результат фильтрации



Фрагмент очищенной выборки для проективного покрытия 0.84

Измененная схема метода оценки проективного покрытия древесного полога леса (ППДПЛ)



Построение опорной выборки ППДПЛ

- Основным приемом построения обучающей выборки по уже имеющимся непрерывным данным ППДПЛ является пространственная статистическая фильтрация. Она представляет собой просеивание выборки, собранной на некоторой заданной территории на основе порогов, построенных по распределению анализируемых признаков (слайд 10).
- Главная идея коррекции обучающей выборки состоит в использовании глобальной статистической фильтрации для построения маски согласованных с данными высокого пространственного разрешения пикселей. Затем построенная маска применяется для удаления из обучающей выборки тех пикселей, в которых доля отфильтрованных по данным Sentinel-2 пикселей велика (превышает 20% площади) (слайд 11).
- Вторым этапом формирования обучающей выборки является локализованная статистическая фильтрация в узлах регулярной сети. Ранее этот этап проходил без участия данных о преобладающих породах. Теперь фильтрация производится независимо для каждого класса карты пород и для нелесных территорий, что позволяет обеспечить локальную пространственную представительность малочисленных классов в результирующей обучающей выборке.

Пример построенной карты проективного покрытия полога леса России за 2010 год



Оценка проективного покрытия древесного полога леса (ППДПЛ)

- Использование метода случайных лесов вместо линейной модели для восстановления регрессионных зависимостей позволяет существенно повысить точность настройки модели, а также дает возможность использовать не только количественные, но и тематические признаки в качестве входных параметров (out-of-bag error сократилась с 13,5% до 10,3%).
- Введение данных о преобладающих породах в качестве признака на этапе построения регрессионной модели помогает компенсировать различия между проективным покрытием полога леса листопадных пород в летний и зимний периоды по сравнению с вечнозелеными лесами, а так же учесть различия между сомкнутостью полога для лесов разными преобладающими древесными породами.
- На слайде в качестве примера построенных продуктов представлена карта проективного покрытия древесного полога леса за 2010 год на территорию страны.