

# Построение набора опорных данных для оценки запаса стволовой древесины с использованием данных Terra-MODIS

Ворушилов И.И., Барталев С.А., Егоров В.А.  
Институт космических исследований РАН, Москва, Россия  
E-mail: ivanvorush@gmail.com

Разработанный в ИКИ РАН дистанционный метод оценки запасов стволовой древесины основан на использовании многолетних временных серий данных композитных изображений MODIS пространственного разрешения 230м, продукта GlobalBiomass разрешением 100м и карты пород, разработанной ИКИ РАН разрешением 230м.

## Входные данные и начальная опорная выборка. Подготовка данных к использованию.

В качестве временного ряда признаков были выбраны зимние композитные изображения Terra-MODIS красного и инфракрасного каналов с пространственным разрешением 230м. Данные проекта GlobBiomass были использованы в роли начальной опорной выборки. Для разбиения по породам была использована карта породного состава, разработанная в ИКИ РАН. Продукт GlobBiomass отражает запас стволовой древесины за 2010 год, измеряемый в м<sup>3</sup>/га, с пространственным разрешением 100м. Поскольку пространственное разрешение этих данных не совпадает друг с другом, необходимо привести все данные к одному пространственному разрешению 100м, чтобы пиксели имели одинаковую геопривязку. В итоге пиксели GlobBiomass, карты пород и композитных изображений полностью пространственно совпадают друг с другом (пиксели карты пород и композитных изображений совмещены изначально). Для первого этапа фильтрации продукта GlobBiomass используется такое разбиение по диапазонам запасов, при котором каждому классу соответствует свой диапазон. Выбрано следующее правило: № класса = целая часть(n/10) (целая часть от количества запасов стволовой древесины, делённая на 10). На последующих итерациях фильтрации правило имеет другой вид. Для запасов до 100 м<sup>3</sup> (не включительно): № класса = целая часть(n/2) (целая часть от количества запасов стволовой древесины, делённая на 2). Для запасов от 100 м<sup>3</sup> (включительно) и до 320 м<sup>3</sup> (не включительно): № класса = 50 + целая часть ((n-100)/5) (целая часть ((количество запасов стволовой древесины (более 320 м<sup>3</sup>), которых в продукте GlobBiomass оказалось очень мало, составляют отдельный класс. Далее с помощью карты пород лесная территория разбивается на шесть групп пород. Первую группу пород представляют светлохвойные леса; вторую – темнохвойные леса; третью – лиственные леса; четвёртую – широколиственные леса; пятую – мелколиственные леса, а шестую хвойный кустарник. Представленные данные поступают в обработку, которая происходит отдельно для каждой группы пород.

## Алгоритм фильтрации опорной выборки. Фильтрация калибровочных кривых.

Для каждой группы пород и каждого класса запаса стволовой древесины в плавающем локальном окне размером 23x23км рассчитывается среднее значение яркости (E) и её среднеквадратическое отклонение (sigma). На основе полученных значений осуществляется локальная фильтрация данных о запасах. Если в локальном окне не удалось собрать необходимое для набора статистики количество точек, то область интереса расширяется до тех пор пока статистика не становится репрезентативной. Репрезентативной считается статистика, имеющая минимум по 10000 пикселей. Фильтрация осуществляется сравнением значений яркости в каналах Terra-MODIS с интервалом (E-sigma, E+sigma). Если значение яркости канала Terra-MODIS не принадлежит этому интервалу, то данная точка исключается из дальнейшего рассмотрения и вследствие из опорной выборки.

В итоге имеются две опорные выборки (одна отфильтрована по RED каналу, другая по NIR каналу). Далее строится их объединение, по следующему принципу. Если точка была исключена хотя бы в одной из выборок, то она удаляется. Остаются только те точки которые удовлетворяют поставленным условиям в обоих каналах. Таким образом строится отфильтрованная опорная выборка. Далее рассматривается среднеквадратичное отклонение. Если оно всё ещё сопоставимо со средним значением КСЯ, то полученная опорная выборка используется в качестве исходной. Данная операция повторяется до тех пор, пока среднеквадратичные отклонения не станут существенно меньше соответствующих им средних значений яркости для локальных ячеек выбранного размера.

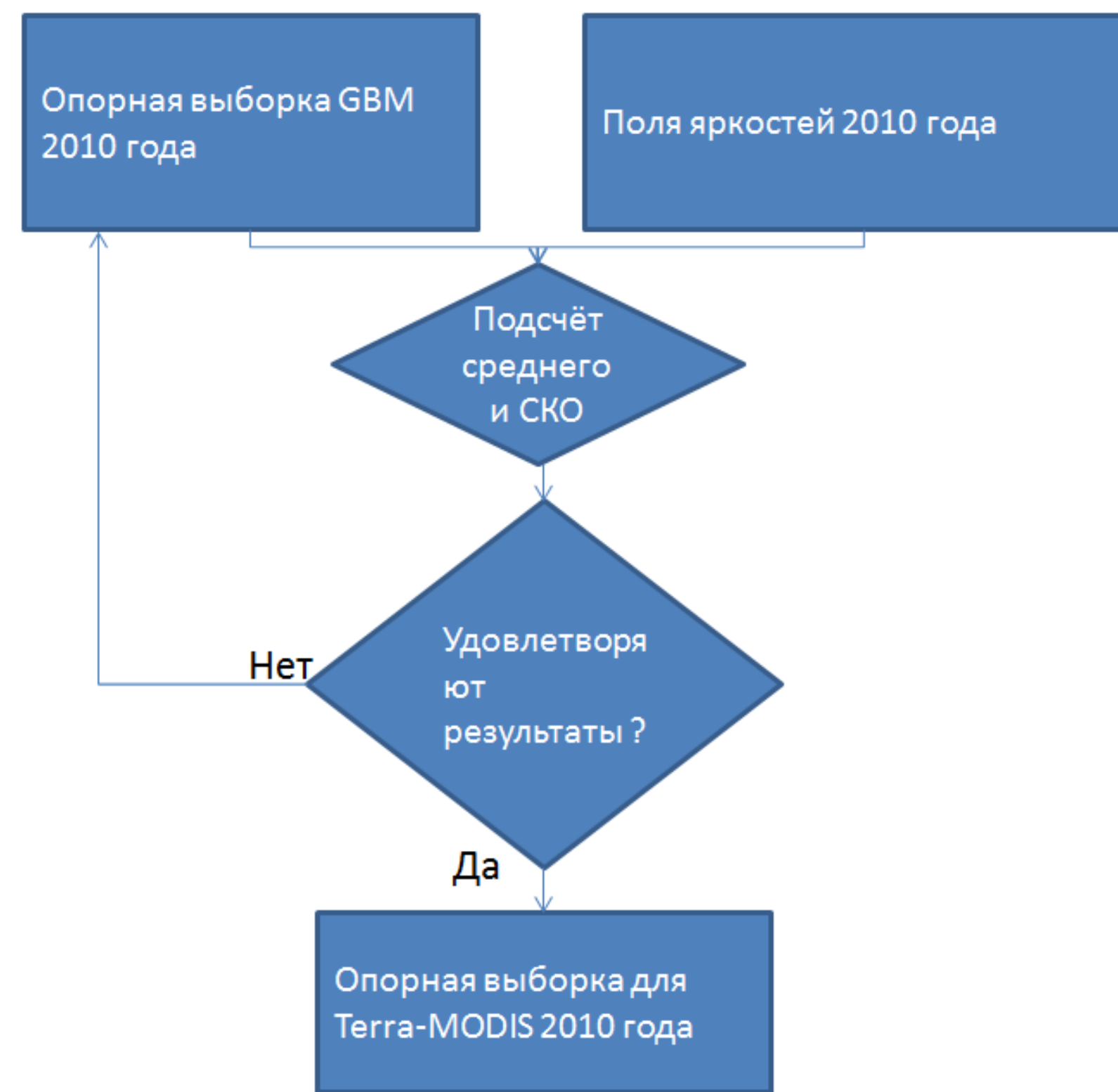
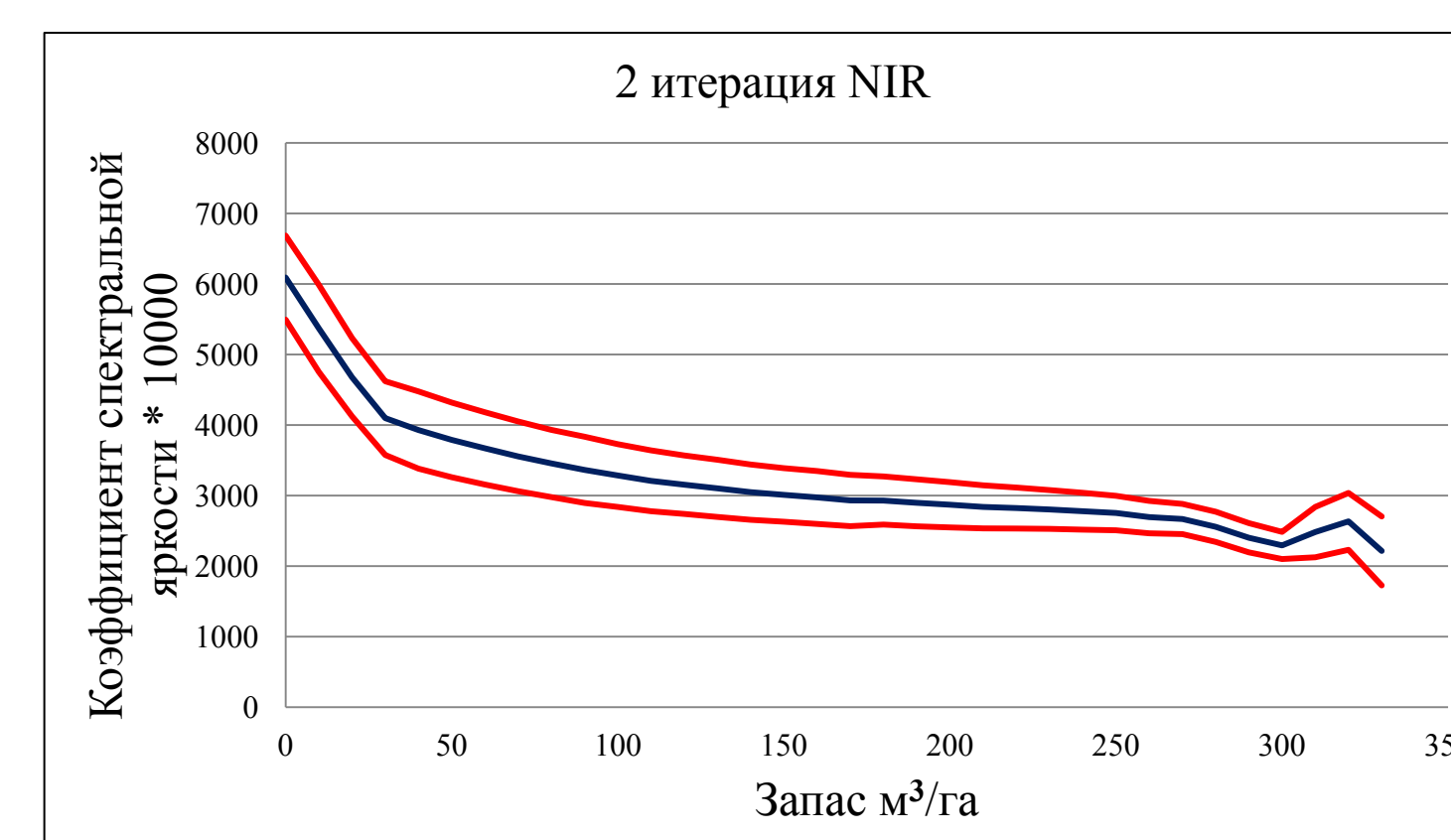
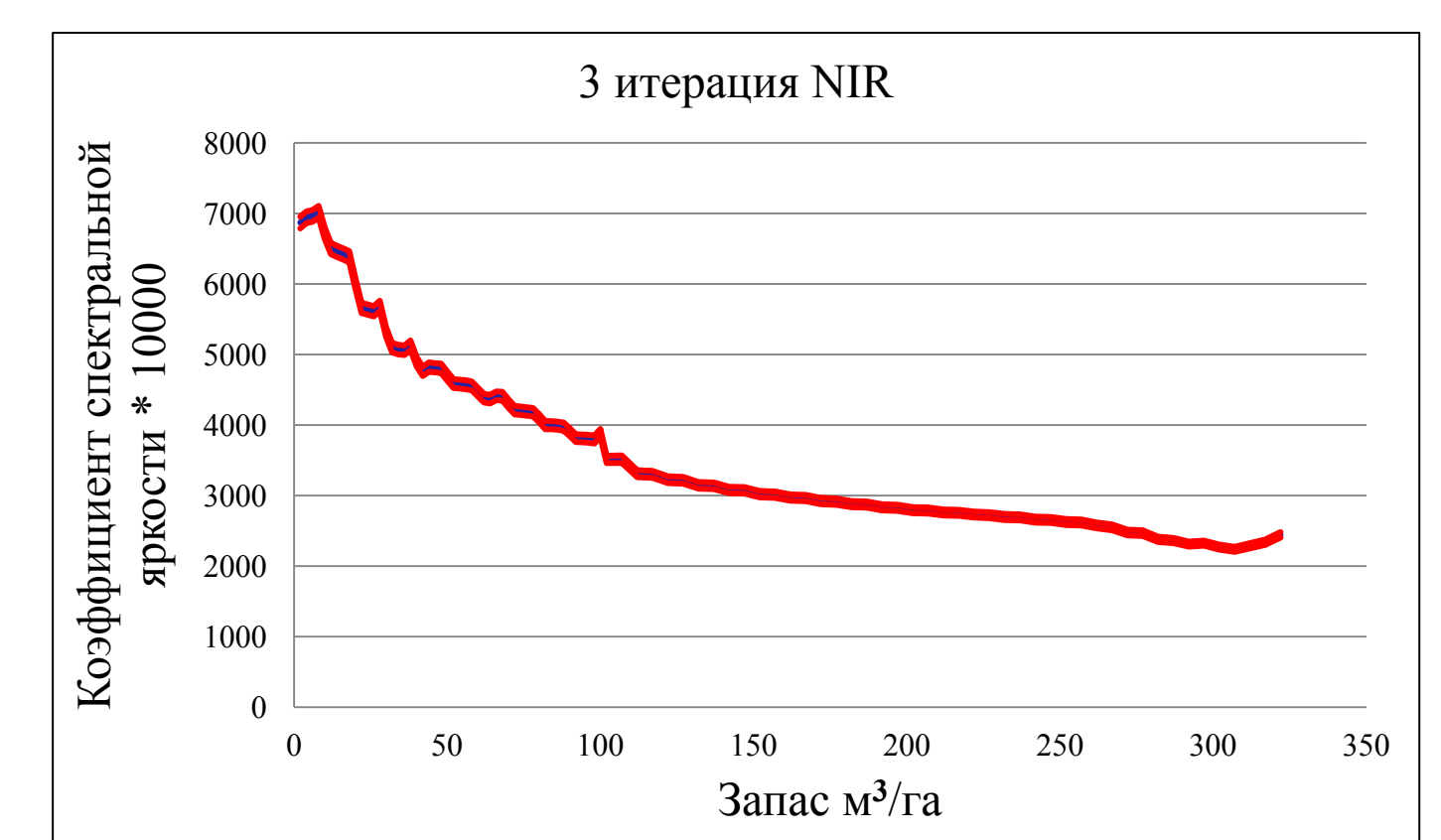


Схема метода фильтрации опорной выборки



Пример средних значений КСЯ (синий цвет) и их средних отклонений (красный цвет) после 2 итерации



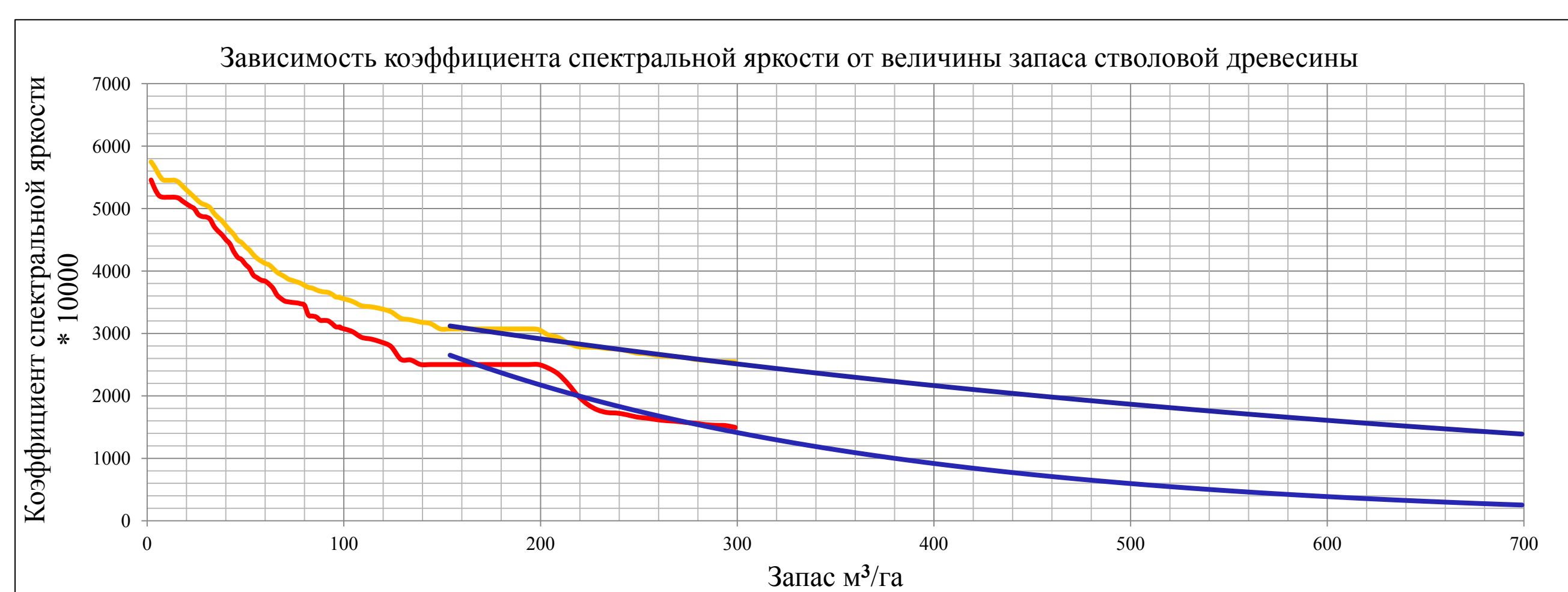
Пример средних значений КСЯ (синий цвет) и их средних отклонений (красный цвет) после 3 итерации

## Представление данных в виде калибровочных кривых и их фильтрация.

Полученный набор локальных средних значений коэффициента спектральной яркости является локальным калибровочным набором диапазонов запаса стволовой древесины, отражающим зависимость между ними. В следствии того, что не всегда удаётся собрать репрезентативный набор точек для подсчёта локальной статистики, отдельные участки полученной функции могут не верно отражать зависимость КСЯ от запаса стволовой древесины для некоторых диапазонов запасов стволовой древесины. Исходя из физических предпосылок мы можем отфильтровать калибровочные кривые так, чтобы исправить локальные ошибки. Для этого обратим внимание на то, что при увеличении запаса стволовой древесины значение КСЯ должно монотонно убывать, также калибровочная функция не должна иметь разрывов. Обоснованием этих утверждений служит тот факт, что древесина имеет больший коэффициент спектрального поглощения, чем подстилающая поверхность, а следовательно более крупные деревья поглощают больше излучения и их КСЯ – меньше. Исходя из этих предположений формируется фильтр, который заменяет ложные значения КСЯ на интерполированные так, чтобы выполнялось условие на монотонность убывания и отсутствие разрывов.

## Аппроксимация и интерполяция правого края калибровочной кривой. Восстановление запаса.

Репрезентативность опорной выборки для больших запасов древесины не всегда достигается, в то время, как присутствует огромное количество пикселей с малым значениям КСЯ, которые соответствуют лесам с большим запасом стволовой древесины. Поскольку значения функции для этих участков необходимы, то производится интерполяция локальных калибровочных кривых. В качестве интерполирующей функции выбрана функция  $e^{(ax+b)}$ , экспериментально было выявлено, что данная функция обладает большими преимуществами перед  $ax+b$  или  $b+a/x$ . Расчёт коэффициентов  $a$  и  $b$  происходит с помощью аппроксимации правого края калибровочной кривой интерполяционной функцией методом наименьших квадратов.



Пример интерполяции правого края функции, желтый – кривая для NIR канала, красный – для RED канала, синий - их интерполяция

Поскольку локальная калибровочная кривая представляет собой дискретную функцию, шаг дискретизации которой не равен шагу дискретизации КСЯ композита, а для построения карты запасов необходима непрерывная функция, то строится её непрерывный аналог в виде кусочно-линейной функции путём соединения соседних точек отрезками. Исходя из того, что калибровочная кривая и её интерполяция являются монотонно убывающими функциями, то для них существуют обратные функции, которые отображают КСЯ в стволовой запас древесины. Получив обратные непрерывные функции и применив их к композитному изображению MODIS за 2010 год, можно получить карту запасов стволовой древесины за 2010 год.

## Приведение временного ряда данных MODIS к калибровке 2010 года.

В силу многих причин объекты, имеющие одинаковые спектральные характеристики, изменяют своё значение КСЯ случайным образом при переходе между годами, а также из-за особенностей построения композитов похожие случайные изменения КСЯ могут помимо межгодового могут иметь и локальный характер. Поскольку рассчитаны обратные локальные функции, которые отображают КСЯ в запас стволовой древесины, для композитного изображения MODIS за 2010 год, то для того чтобы можно было применить эти функции ко всему временному ряду композитных изображений необходимо привести весь ряд композитных изображений MODIS к 2010 году, то есть произвести нормализацию изображений других лет. Для нормализации используется факт, что зимой на границе леса, формируется достаточный снежный покров, который не подвержен эффектам влияющих на его КСЯ. К таким эффектам относятся: выветривание снега, его оледенение, а также влияние солнечных бликов. В нашем случае границе леса соответствуют малые запасы стволовой древесины (от 1 до 10 м<sup>3</sup>/га). В силу факта описанного выше считается, что КСЯ для малых запасов древесины не должен изменяться на протяжении всего временного ряда. Тогда для того, чтобы произвести калибровку всего временного ряда к 2010 году, достаточно поделить локальные значения КСЯ текущего года на локальные средние значения КСЯ для малых запасов 2010 года. Локальные средние значения КСЯ для малых запасов текущего года рассчитываются таким же способом, что и для 2010 года, только в качестве опорной выборки используется полученная ранее карта запасов стволовой древесины за предшествующий год для композитных изображений после 2010. В качестве опорной выборки используется, полученная ранее карта запасов стволовой древесины за следующий год для композитных изображений до 2010. Очевидно, что использование в качестве опорной выборки карты запасов стволовой древесины соседнего года, приводит к систематической ошибке так, как запасы прирастают. Данная систематическая погрешность приводит к тому, что значения запасов стволовой древесины занижается для карт построенных на основе композитных изображений после 2010 года и завышается для карт построенных на основе композитных изображений до 2010 года, но поскольку разница средних значений КСЯ для соседних запасов при их малых значениях приблизительно равна погрешности самого MODIS так, что прирост древесины на этих запасах несущественно изменяет КСЯ, таким образом данная систематическая ошибка –мала и ей можно пренебречь.