

# **Оценка запаса стволовой древесины, его динамики и оценка погрешности**

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

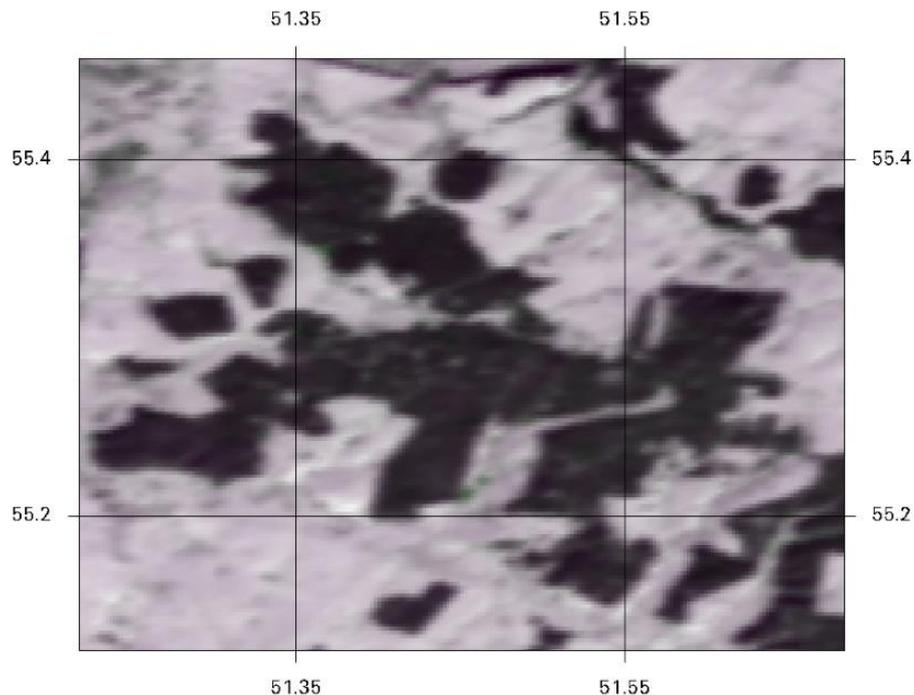
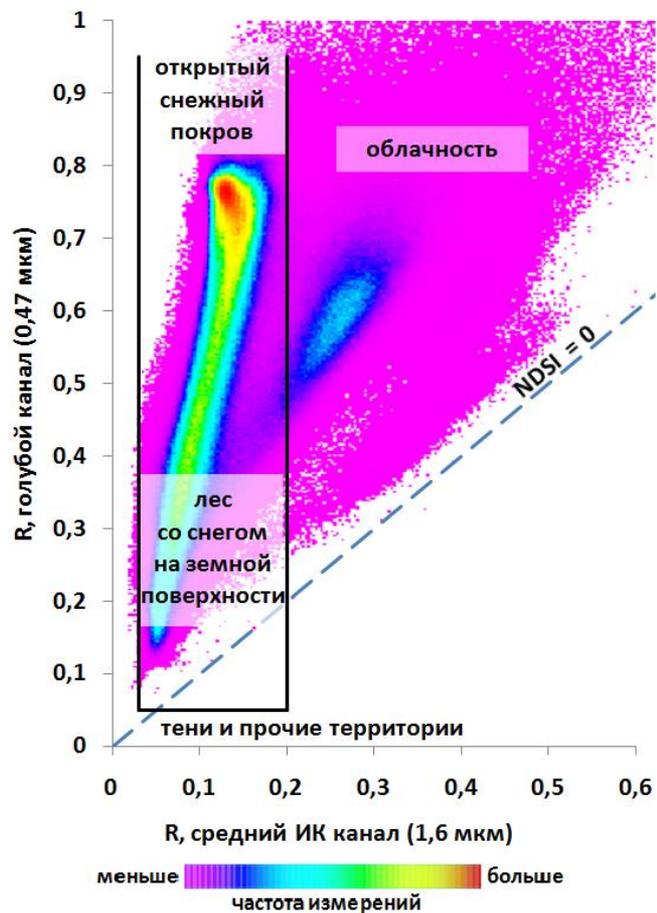
*Институт космических исследований РАН*

**2024 г.  
Москва**

# Метод оценки динамики запаса стволовой древесины

- построение временного ряда зимних композитных изображений снежного покрова
- коррекция яркостных характеристик зимних композитных изображений
- построение опорной выборки запаса стволовой древесины за 2010 год
- построение расширенной опорной выборки за 2010 год
- построение временного ряда запаса стволовой древесины на территории России
- коррекция и сглаживание полученных данных
- оценка погрешности

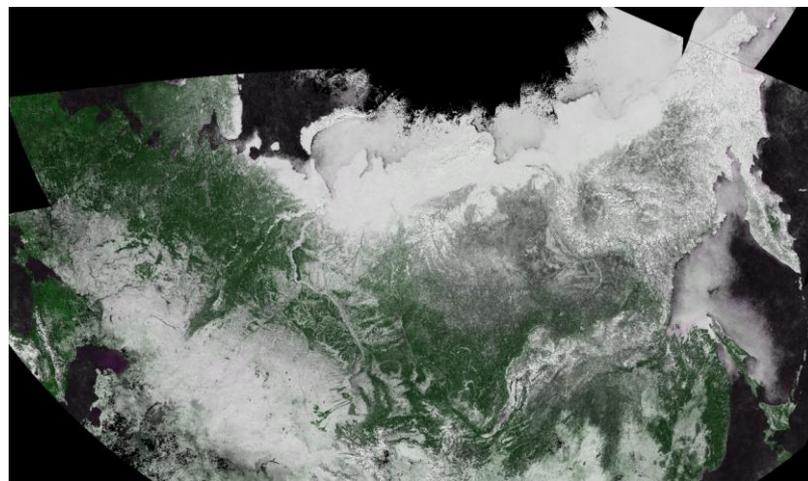
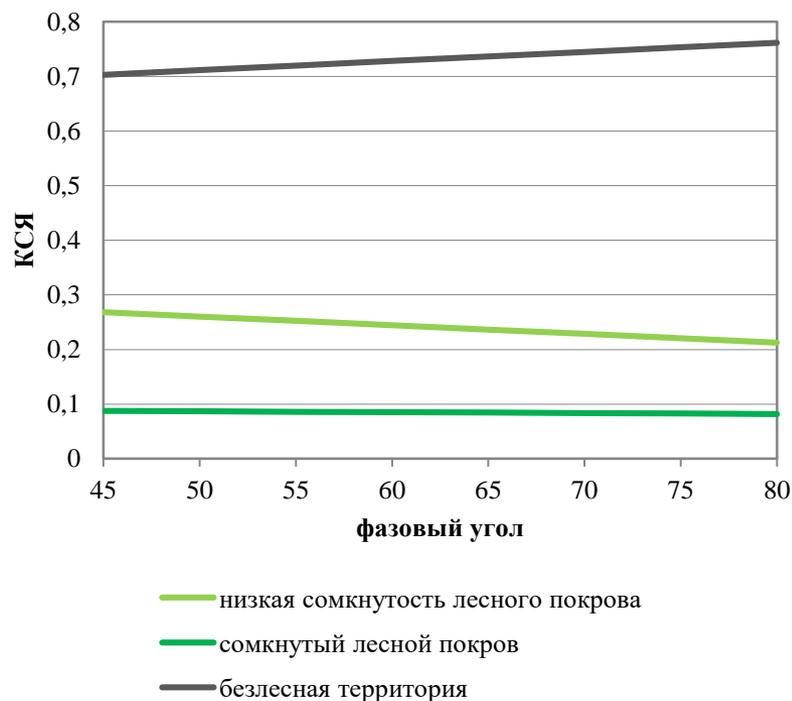
# Построение временного ряда композитных изображений снежного покрова



Пороговая классификация исходных спутниковых изображений в двумерном пространстве в голубом и среднем ИК диапазонах спектра на примере данных системы MODIS

Композитное изображение покрытой снегом земной поверхности ( $R_{red}$  (R),  $R_{NIR}$  (G),  $R_{red}$  (B)): по данным MODIS (230 м)

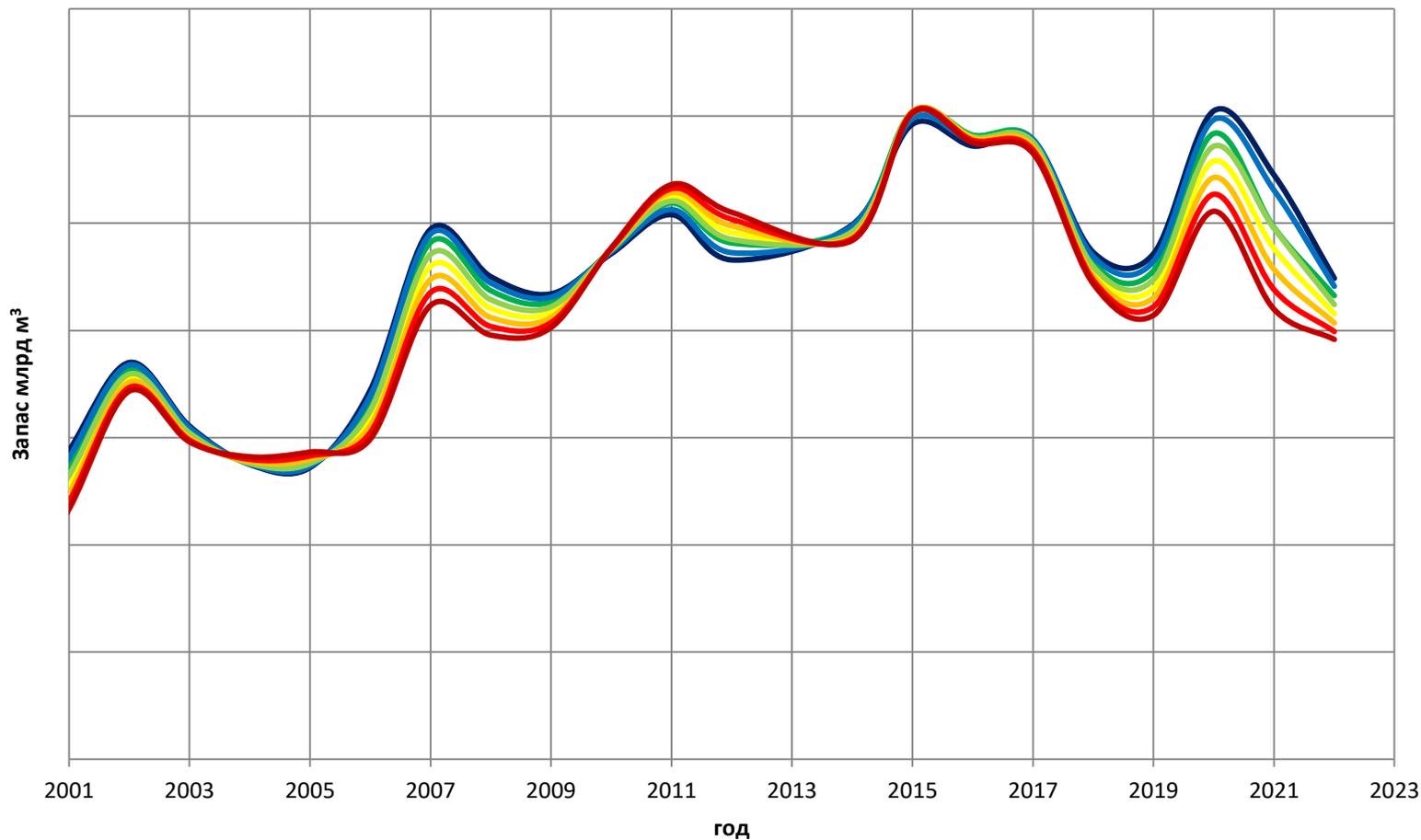
# Геометрическая нормализация композитных изображений снежного покрова



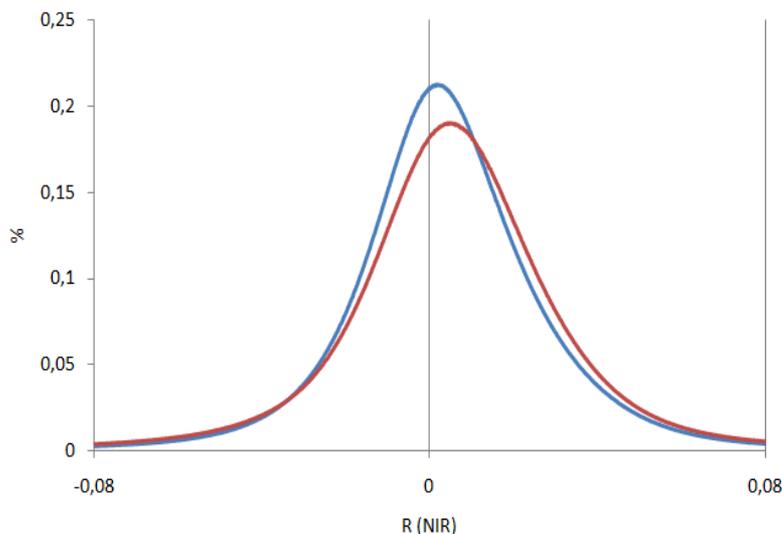
Зависимость коэффициента спектральной яркости от величины фазового угла для безлесной территории и лесного покрова на примере данных системы MODIS

Композитное изображение с наличием снежного покрова в RGB синтезе (RED-NIR-RED) за 2020 год при значении фазового угла 45 градусов

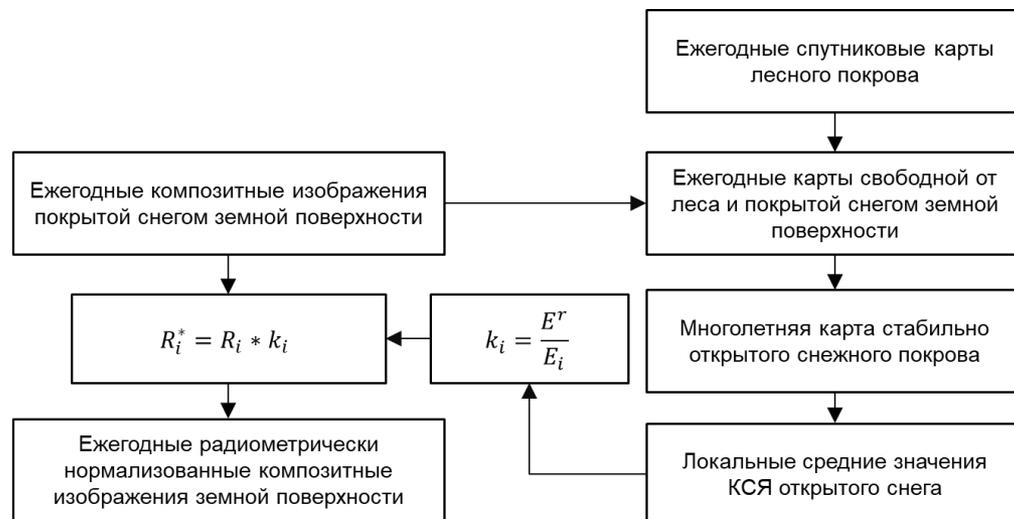
# Пример динамики суммарного запаса в зависимости от выбранного фазового угла при отсутствии временной нормализации



# Временная коррекция ряда зимних композитных изображений снежного покрова



— разность R NIR 2010 - 2012 после нормализации  
 — разность R NIR 2010 - 2012 до нормализации

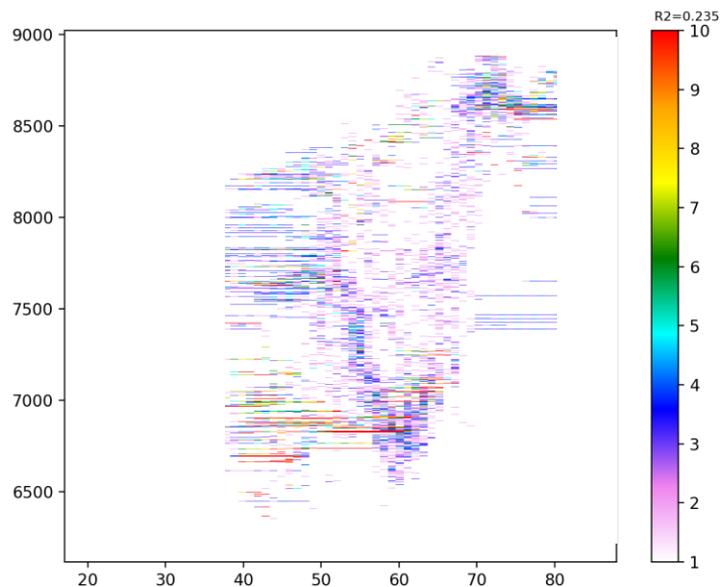


$E_i$  и  $E^r$  - локальные средние значения КСЯ открытого снежного покрова, полученные на регулярной сети с использованием композитных изображений произвольного  $i$  - го и опорного годов;  $R_i$  и  $R_i^*$  - значения КСЯ в пикселах исходного и радиометрически нормализованного композитных изображений;  $k_i$  - заданные на регулярной сети значения коэффициентов радиометрической нормализации композитного изображения.

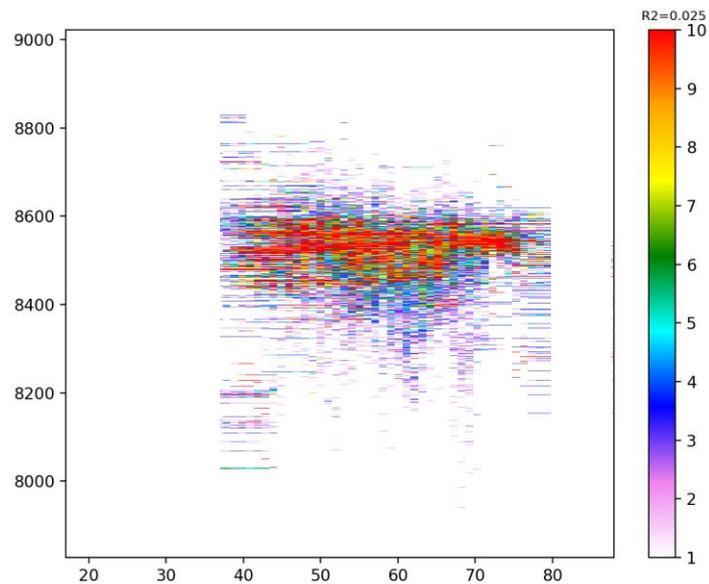
Гистограммы распределения разностей КСЯ в ближнем ИК диапазоне по данным MODIS 2010 и 2012 годов с использованием исходных и радиометрически нормализованных композитных изображений территории России с наличием снежного покрова на земной поверхности

Логическая схема радиометрической нормализации композитных изображений покрытой снегом земной поверхности

# Пространственная коррекция зимних композитных изображений снежного покрова

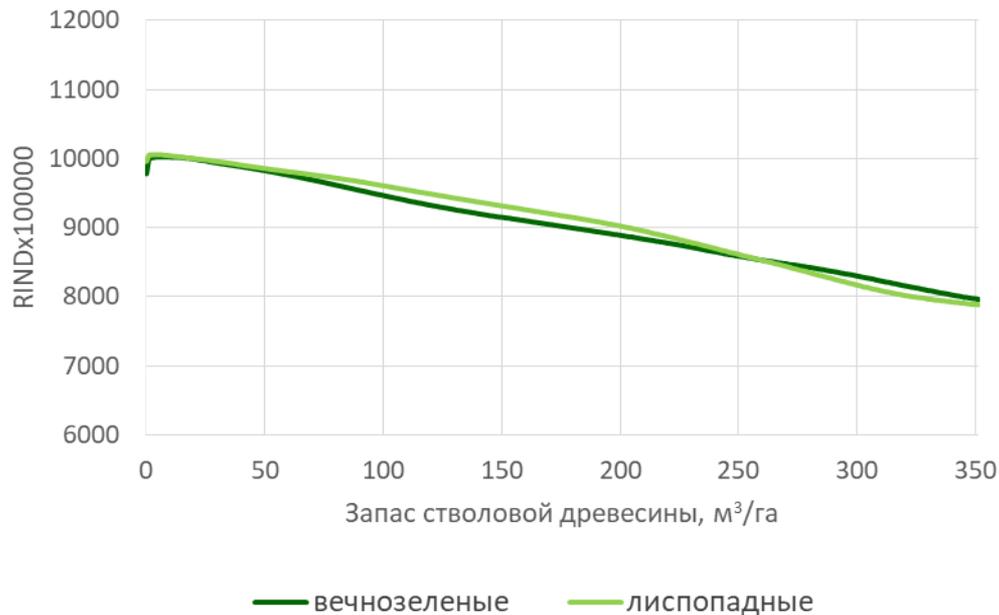
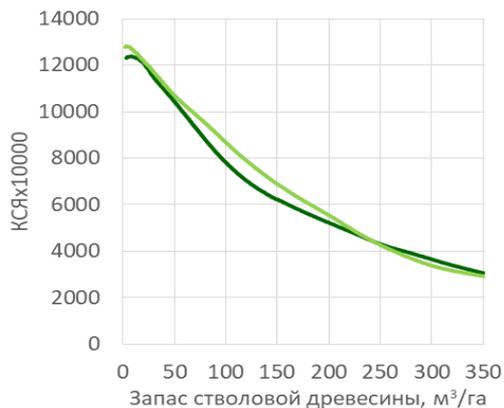
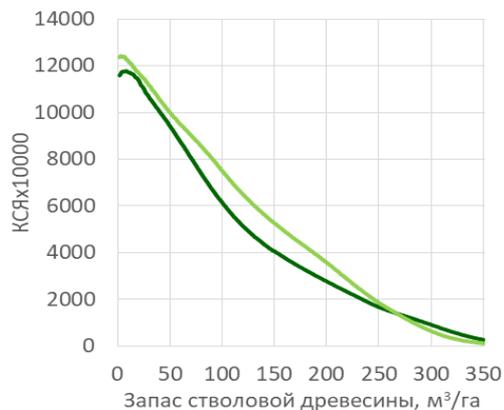


Корреляция широты и КСЯ открытой бесснежной поверхности до пространственной нормализации



Корреляция широты и КСЯ открытой бесснежной поверхности после пространственной нормализации

# Построение индекса для учета вегетационной составляющей вечнозеленых лесов



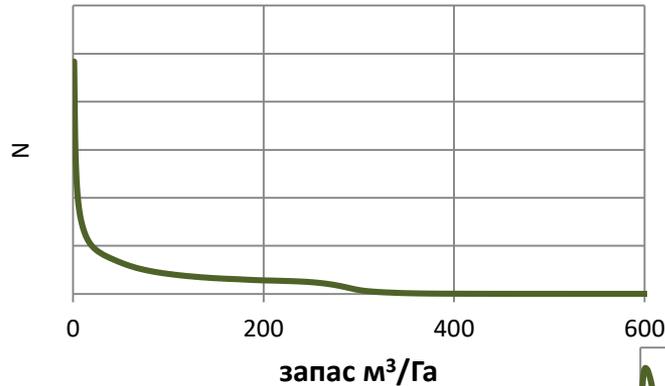
Зависимость медианного значения отражательной способности (КСЯ, в красном и ближнем ИК каналах) и индекса RIND от величины запаса древесины вечнозеленых и листопадных лесов

$$RIND = \ln(Red + 0,86 * NIR)$$

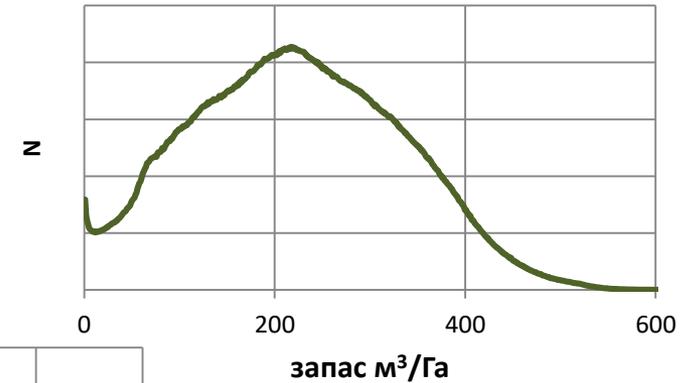
# Построение опорной выборки удельного запаса стволовой древесины

1. Данные GlobalBiomass<sup>1</sup> по состоянию на 2010 год, агрегированные до пространственного разрешения 230м
2. Данные о запасах на основе информации по выделам, откорректированные с учетом всех ярусов, приведенные к 2010 году и агрегированные до пространственного разрешения 230м

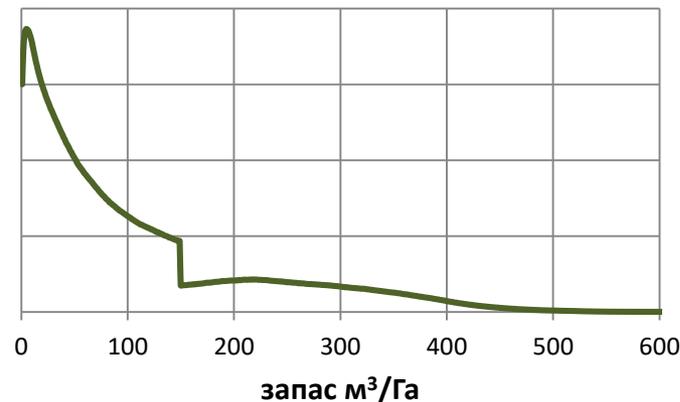
<sup>1</sup>ESA DUE Globbiomass project (<https://globbiomass.org/>)



Гистограмма выборки GlobalBiomass



Гистограмма выборки, полученной на основе выделов

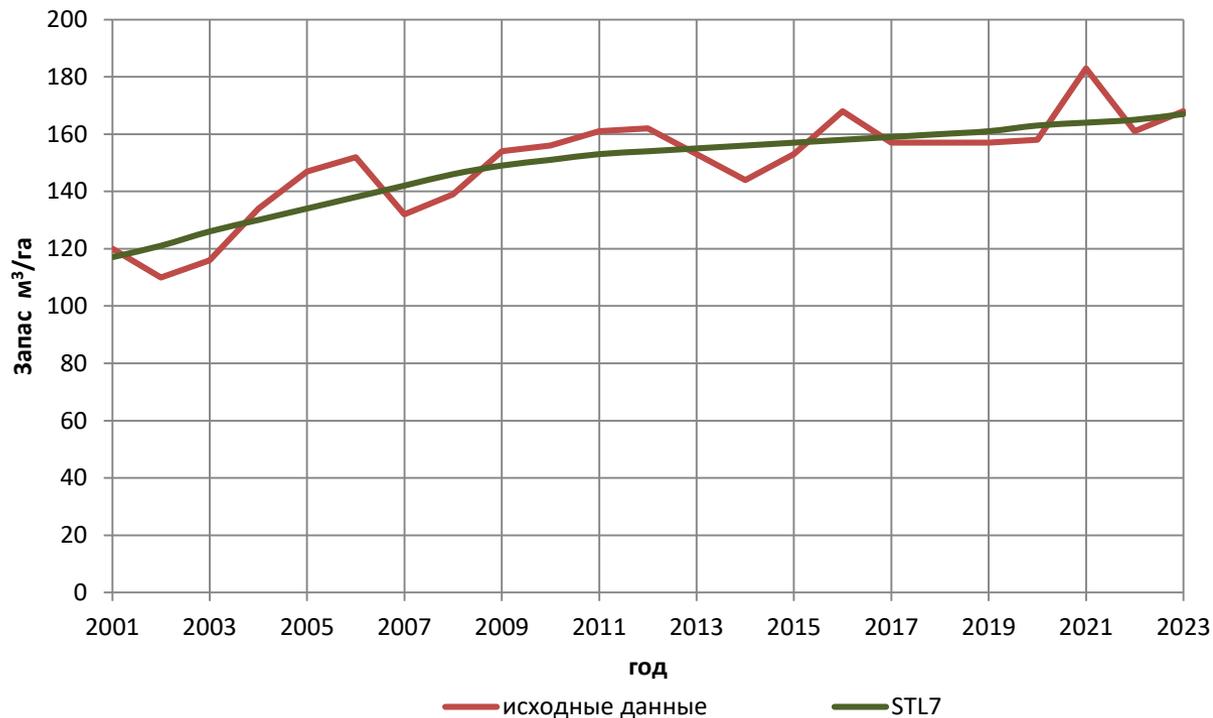


Гистограмма суммарной выборки

# Оценка динамики запаса стволовой древесины

1. Построение равномерно распределенной выборки удельного запаса на основе восстановленного временного ряда Terra/Aqua-MODIS бесснежного периода 2011 года за май-сентябрь с шагом в 15 дней, также добавлено пространственно скорректированное композитное изображение снежного покрова 2011 года (LightGBM - Light Gradient Boosted Machine)
2. Построение временного ряда запаса стволовой древесины на основе ежегодного набора индексов RIND и NDVI, полученных по зимним данным Terra/Aqua-MODIS 2002 - 2024 года (RF - Random Forest)
3. Корректировка полученных данных

# Корректировка полученных данных, сглаживание STL



Плавающее окно шириной 7 точек, поступающее на вход сглаживания STL не применяется при наличии пожарного повреждения или выявленного резкого деструктивного повреждения

Пример динамики удельного запаса (85,3318802°E 62,0516155°N)

# Оценка погрешности запаса стволочной древесины в пикселе спутниковых данных

Общая погрешность в пикселе :  $e = e_s + e_r$

Погрешность модели  
(систематическая,  $e_s$ )

- Используется опорная выборка, содержащая более 280 млн элементов, и карты запаса стволочной древесины 2011 года
- Для каждого значения запаса вычисляется:

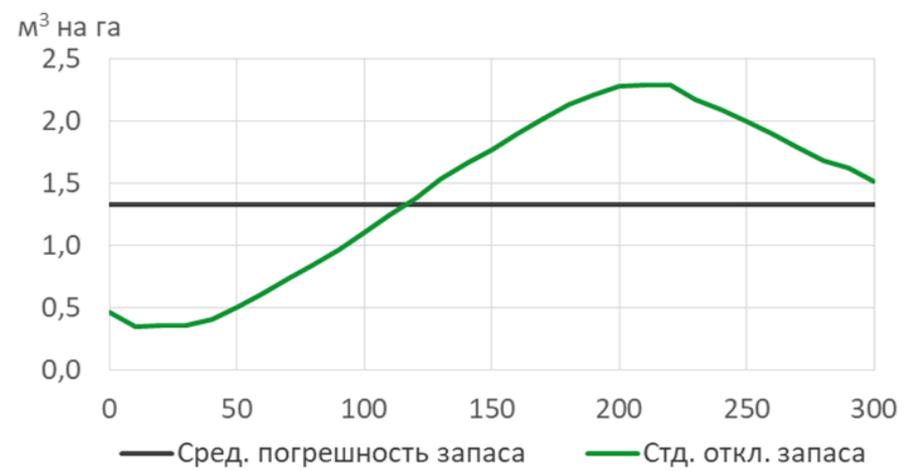
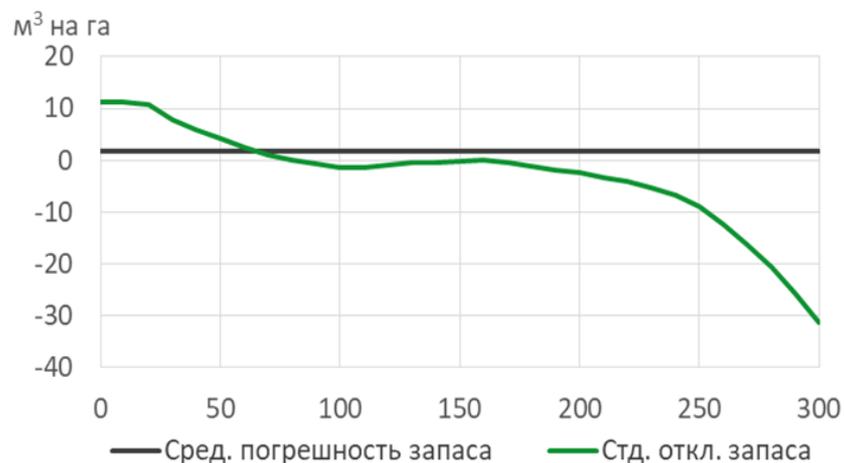
$$e_s = x - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{x}_i$$

Погрешность данных  
(случайная,  $e_r$ )

- Используется временной ряд построенных оценок запасов стволочной древесины
- Исключаются измененные участки лесов (гари, вырубки)
- В скользящем окне временного ряда строятся линейные регрессии и оценивается отклонение от реального значения оценки  $\Delta = (A * year + B - \hat{x})^2$
- Для каждого значения запаса вычисляется:

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^V \Delta_{i,\hat{x}}}{V - 1}}$$

где  $V$  – количество пикселей со значением оценки характеристики лесов  $\hat{x}$



Разбиение на связанные независимые области на основе наличия ДКР в пикселе:



Внутри областей ошибки связаны, поэтому суммарная погрешность в области равна:

$$e^{seg} = \sum_{i=1}^{N_j} e_i,$$

где  $N_j$  – количество пикселей в  $j$ -ом сегменте с погрешностями  $e_i$ .

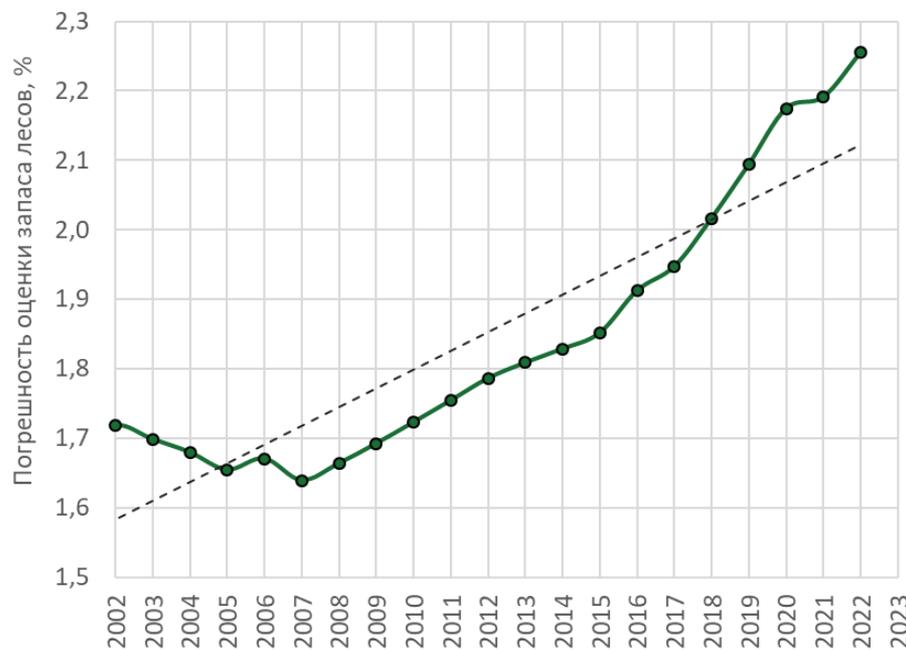
**Общая** погрешность оценки предполагает независимость погрешностей между сегментами:

$$e_{общая} = \sqrt{\sum_{j=1}^T e_j^{seg^2}}$$

где  $T$  – количество сегментов с соответствующими значениями погрешностей  $e_j^{seg}$ .

Погрешность оценки общего запаса стволовой древесины на всей территории России в зависимости от года изменяется в пределах от 1,97 млрд м<sup>3</sup> до 3,27 млрд м<sup>3</sup>, что составляет от **1,65%** до **2,25%** от суммарной величины запаса.

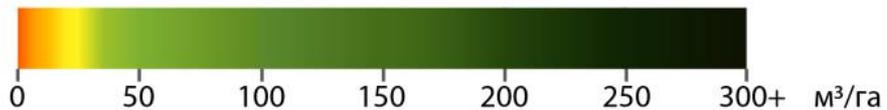
График изменения погрешности оценки запаса стволовой древесины



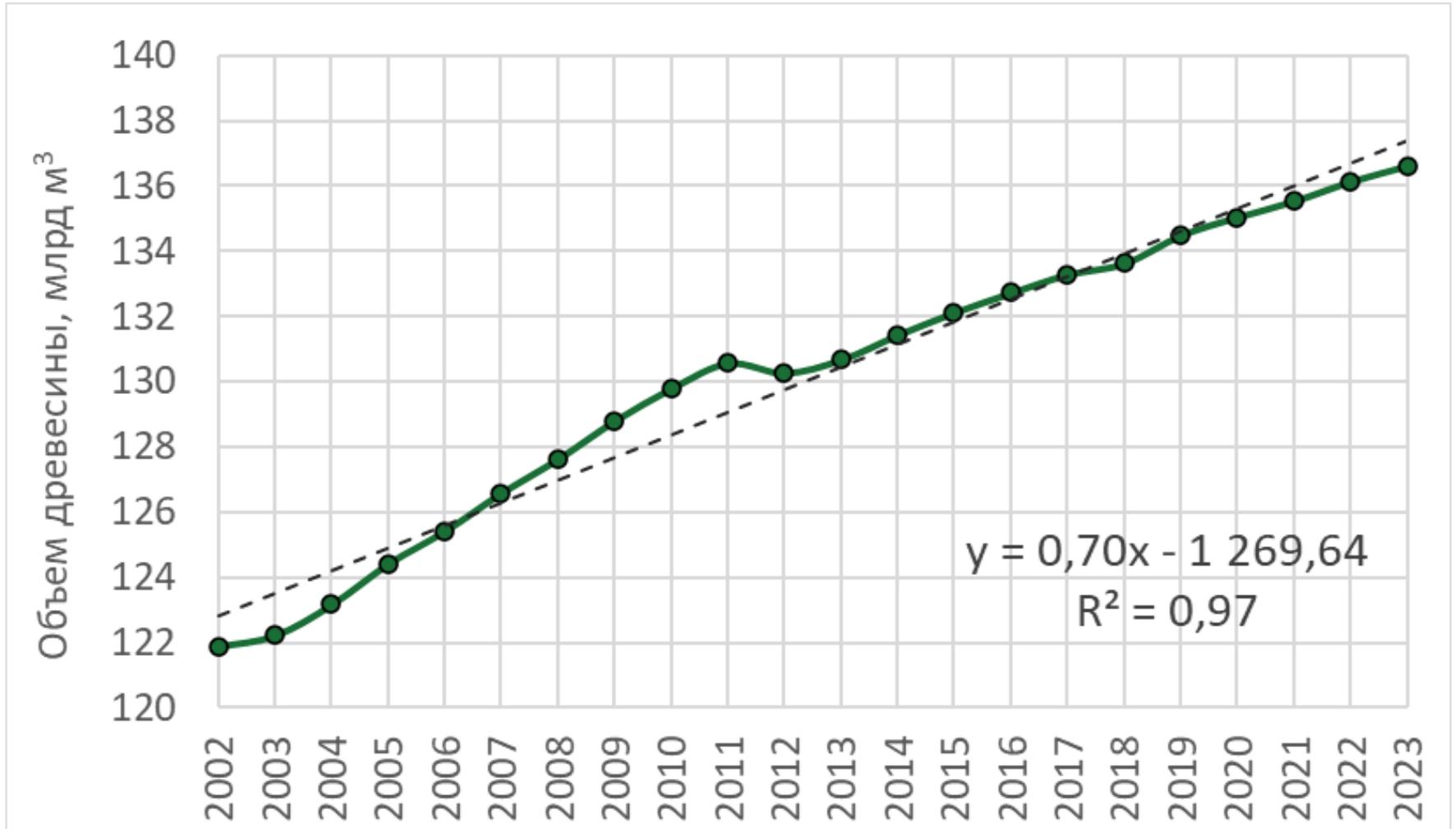
# Карта удельных запасов стволовой древесины в лесах России



УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ:



# Изменение объемов стволочной древесины в лесах России



Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (госрегистрация № 124060500032-7) с использованием Центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды

Спасибо за внимание