

# **Метод оценки продуктивности и возраста лесных насаждений на основе временного ряда дистанционно измеренных запасов стволовой древесины**

Хвостиков С.А., Барталев С.А., Жарко В.О.

[khvostikov@d902.iki.rssi.ru](mailto:khvostikov@d902.iki.rssi.ru)

Институт Космических Исследований РАН

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

# Введение

Данные о продуктивности и возрасте лесных насаждений позволяют спрогнозировать дальнейшую динамику ряда их характеристик: высоты, запаса, площади сечения;

Эти данные важны для решения задач лесного хозяйства, а также, например, для оценки углеродного баланса лесов страны;

В отечественной практике продуктивность часто характеризуется безразмерной величиной бонитета (от Iб до Vб);

Работа основана на сопоставлении временных рядов спутниковых оценок запаса стволовой древесины и аналитических моделей хода роста для определения бонитета и возраста лесных насаждений.

# Таблицы хода роста

Таблицы хода роста задают динамику ключевых характеристик лесов (запас, высота, диаметр ствола, площадь сечения и др.) в зависимости от возраста и бонитета;

В работе использовались таблицы, разработанные авторским коллективом Швиденко А.З., Щепашенко Д. Г., Нильссон С. и Булуй Ю.И. (2008);

Динамика всех характеристик задается в аналитическом виде:

$$X(SI, A) = c_1(SI)[1 - e^{-c_2(SI)A}]c_3(SI)$$

где  $A$  – возраст,  $SI$  – бонитет, а  $c_i(SI)$  – зависящие от породы коэффициенты.

# Входные данные

В работе использовались следующие входные данные:

- Преобладающая порода лесов;
- Запас стволовой древесины
- Полнота и лесистость лесных насаждений

Все эти данные были ранее получены коллективом авторов ИКИ РАН для периода с 2001 года по текущее время.

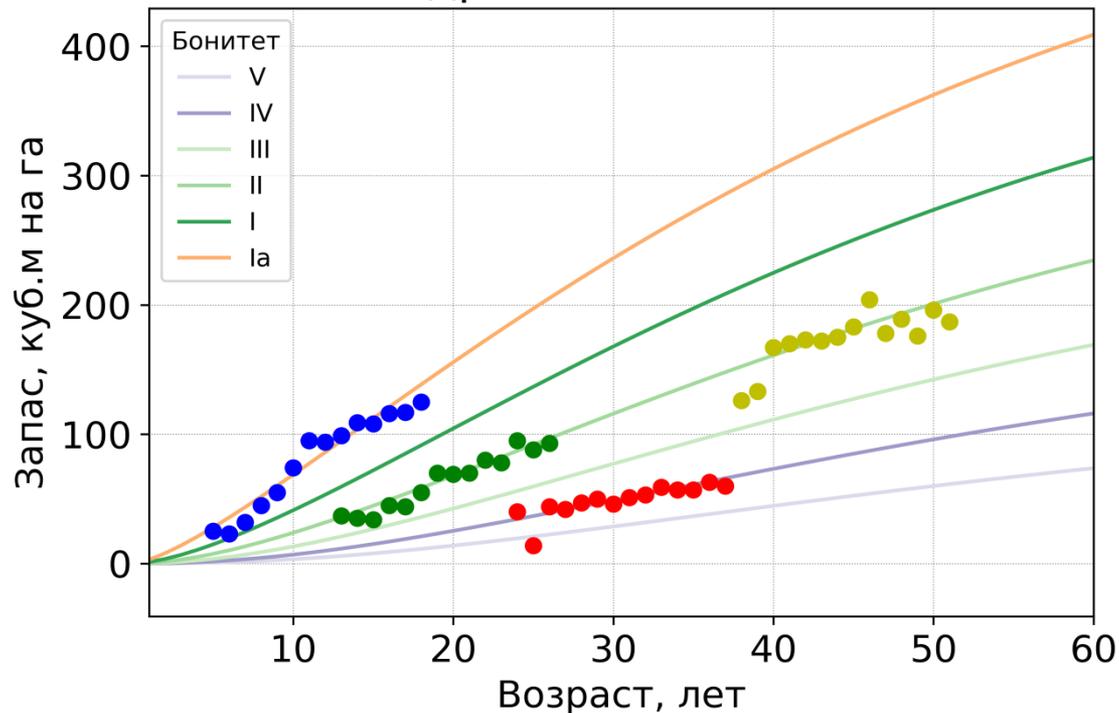
Информация о породе позволяет выбрать таблицу (модель) хода роста.

Запас стволовой древесины корректируется с учетом полноты и лесистости для получения запаса полных насаждений.

# Аппроксимация временных рядов

Временной ряд динамики запаса стволовой древесины может быть аппроксимирован аналитическими функциями, основанными на таблицах хода роста, посредством выбора оптимальных значений возраста и бонитета лесных насаждений.

## 1.13. Ход роста полных (нормальных) березовых древостоев $I=1^*$



# Оценка бонитета и возраста

Формально поиск оптимального бонитета и возраста можно выразить как поиск аргументов, минимизирующих функцию среднеквадратического отклонения:

$$\begin{aligned} RMSE &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (X(SI, A_i) - OBS_i)^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (c_1(SI)[1 - e^{-c_2(SI)(A_0+i)}]c_3(SI) - OBS_i)^2} \end{aligned}$$

Поиск минимума является оптимизационной задачей, и может быть решен отдельной оптимизацией по каждому аргументу с помощью двоичного поиска;

Реализация алгоритма оптимизации на языке C++ позволяет оценить возраст и бонитет для всей России (150 млн пикселей) за 6 часов.

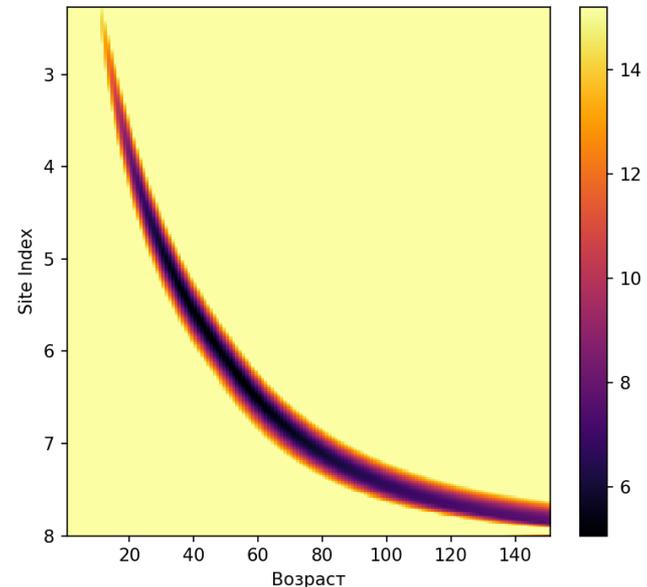
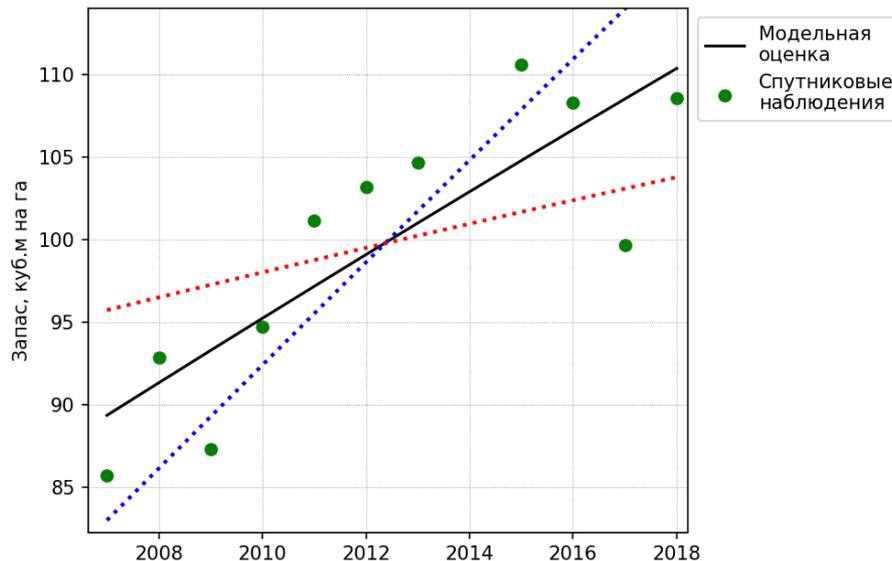
# Неопределенность полученных оценок

Методы анализа нелинейных регрессий позволяют также оценить неопределенности полученных оценок по формуле:

$$\{SI, A | RMSE(SI, A) \leq RMSE(SI_{opt}, A_{opt}) * (1 + F(N, 2))\}$$

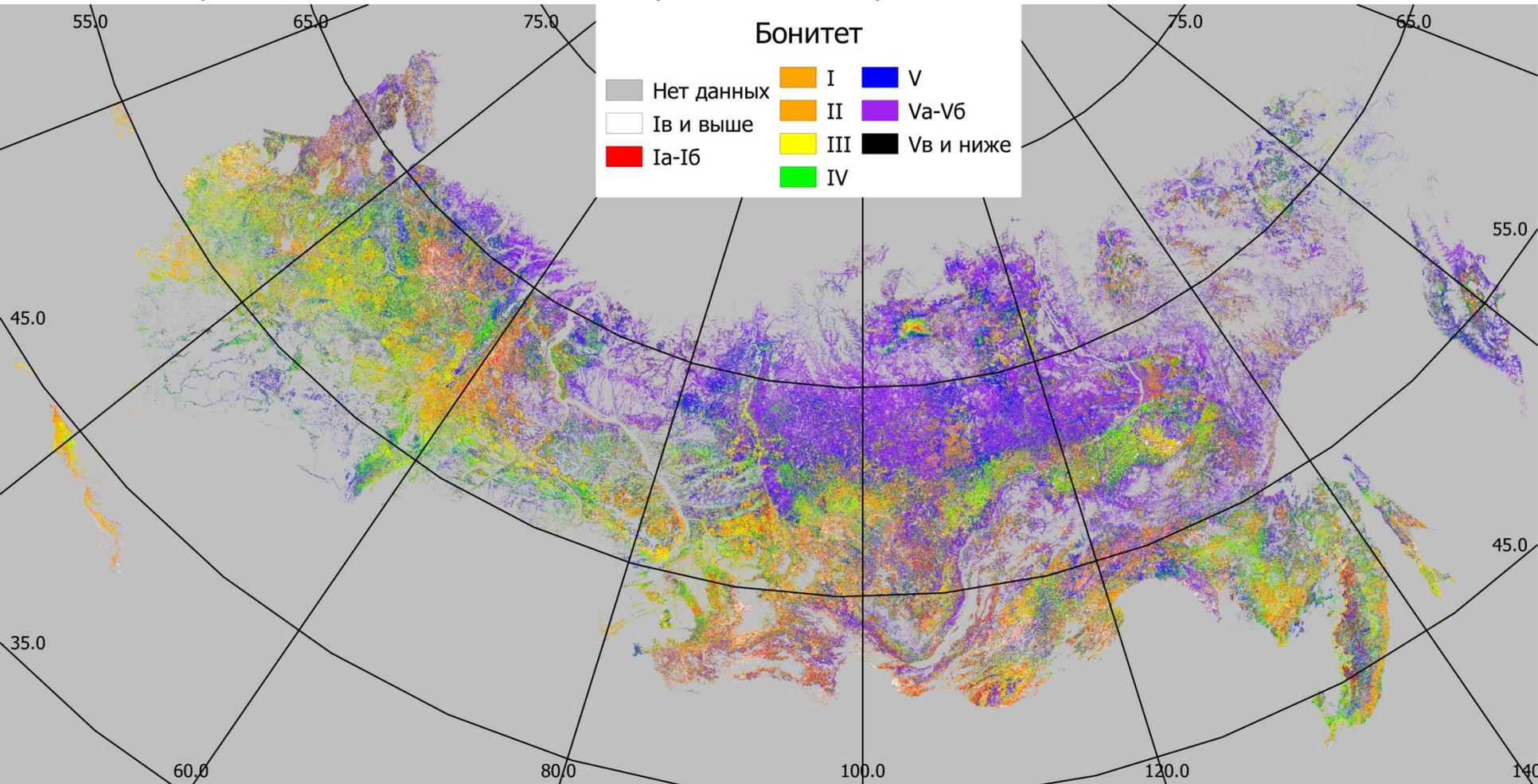
где  $F(N, 2)$  – F распределение для 2 степеней свободы и N переменных;

Данная область всегда имеет определенную структуру. Для оценки неопределенности достаточно найти верхнюю и нижнюю границу пошаговым поиском.



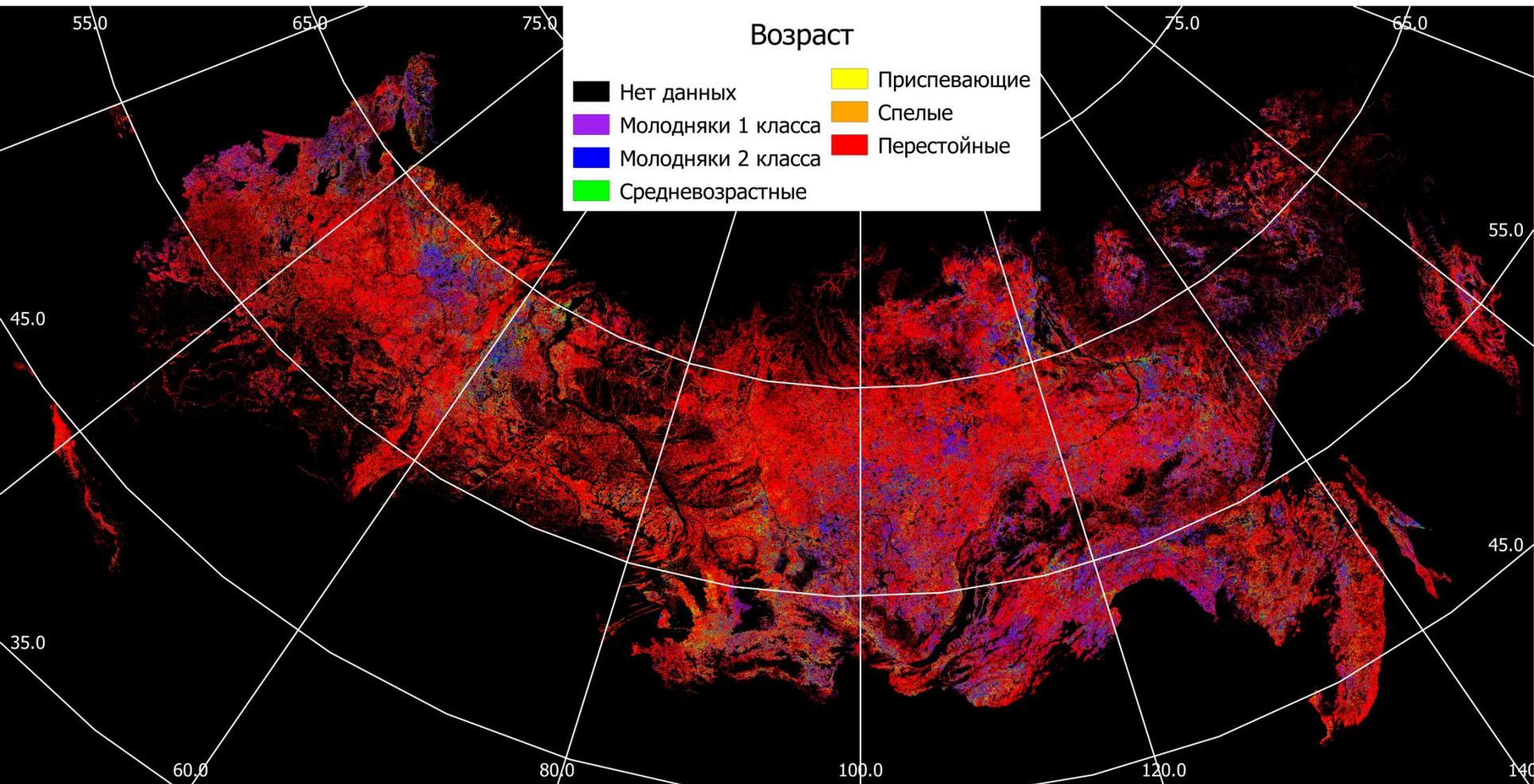
# Результаты оценки бонитета и возраста

Карта бонитетов показывает ожидаемые тенденции, более высокие бонитеты на юго-западе страны, более низкие на северо-востоке страны.



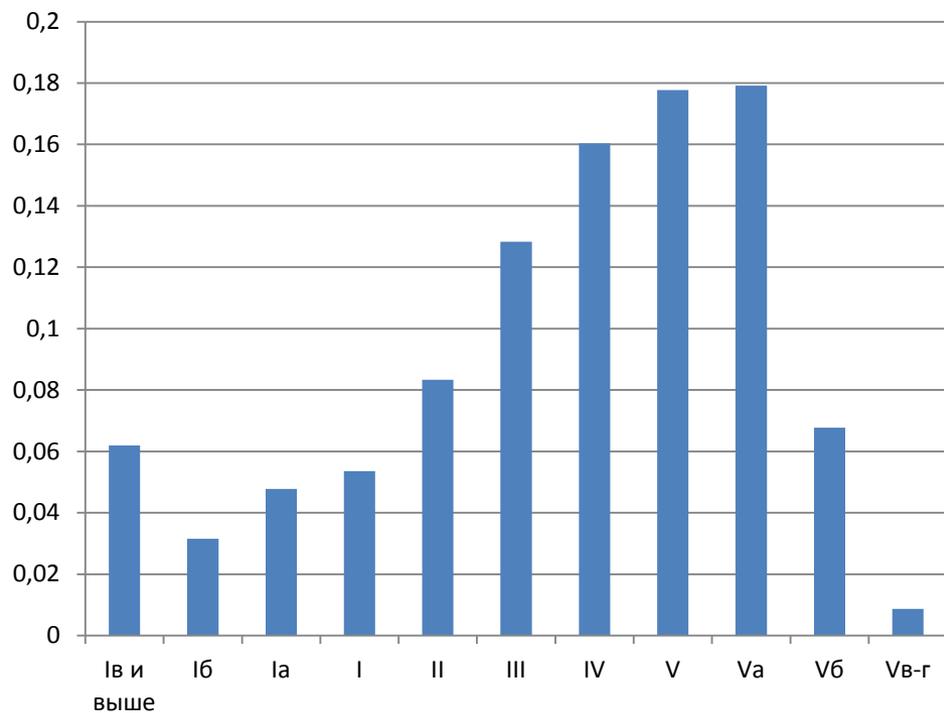
# Результаты оценки бонитета и возраста

Карта возраста показывает преобладание зрелых лесов на территории России.

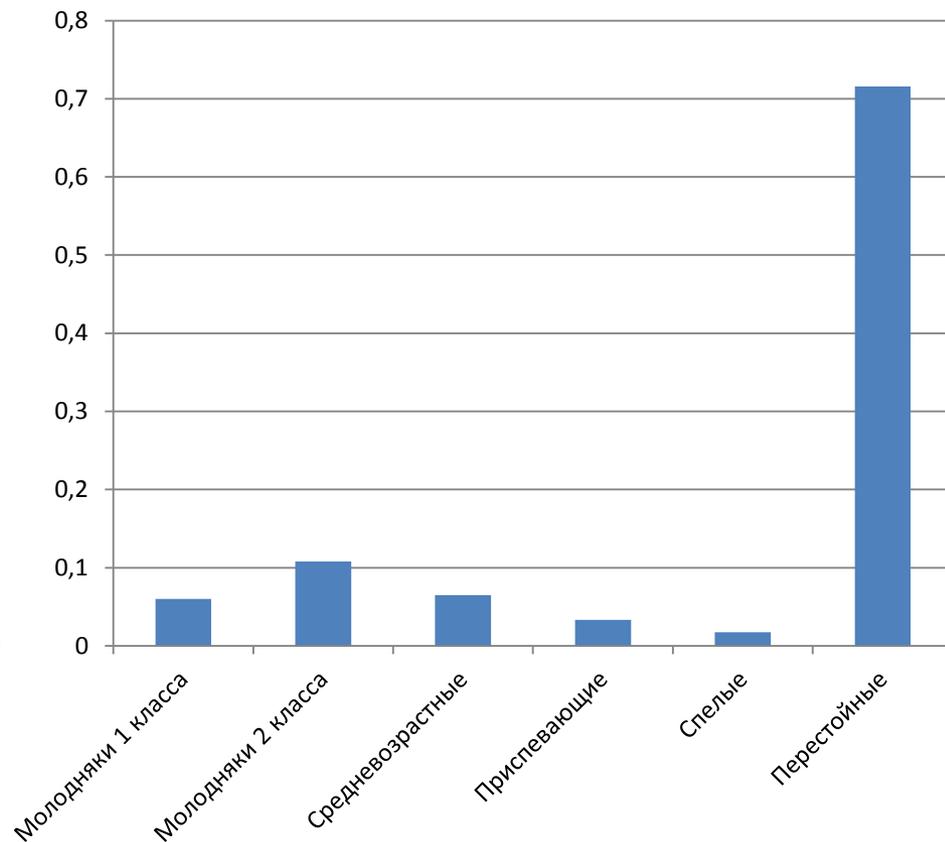


# Анализ результатов оценки бонитета и возраста

## Гистограмма бонитетов

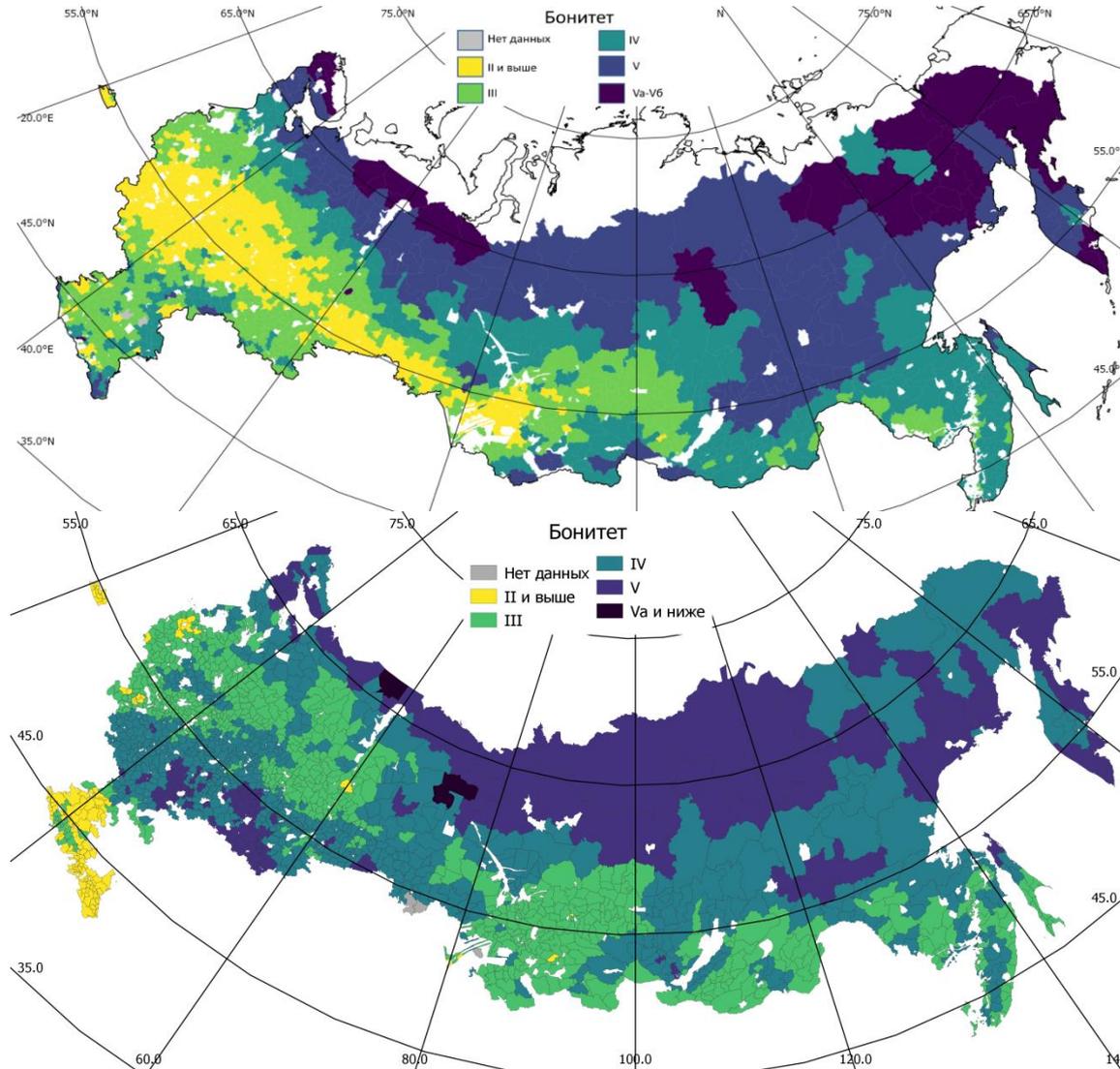


## Гистограмма возрастов



# Сравнение с ГУЛ

Было проведено сравнение полученных данных о бонитете с данными ГУЛ от 2003 года. Визуальный анализ показывает достаточно высокий уровень совпадения.



# Выводы

Представлен метод оценки бонитета и возраста лесных насаждений на основе полученных в ИКИ РАН продуктов;

Реализация метода позволяет построить оценки возраста и бонитета, и их неопределенности для всей территории России;

Метод позволил получить предварительные оценки бонитета и возраста, их анализ говорит об адекватности предложенного подхода.

Исследование выполнено в рамках ГЗ ЦЭПЛ РАН № АААА-А18-118052400130-7 при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №19-77-30015).

# Спасибо за внимание!

