



XVI Всероссийская Открытая конференция  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Секция «Дистанционное зондирование растительных  
и почвенных покровов»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ  
И ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ В ЛЕСАХ ПО РАЗНОСЕЗОННЫМ  
ДАННЫМ LANDSAT НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ  
ЗАПОВЕДНИКА «БРЯНСКИЙ ЛЕС»**

*Е.А. Гаврилюк, Д.В. Ершов, А.В. Горнов*

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва

Москва, ИКИ РАН, 12 – 16 ноября 2018 года

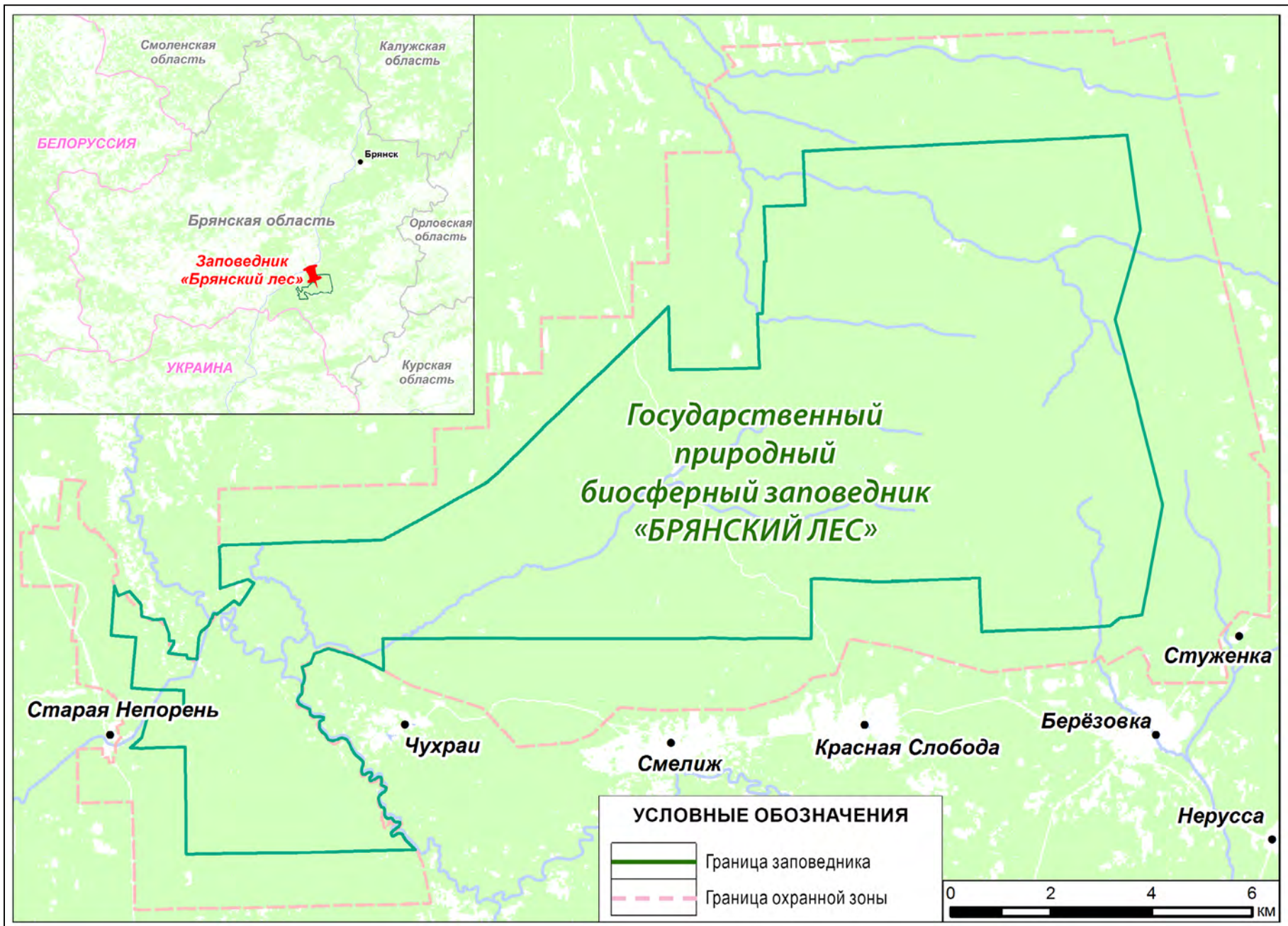
# Цель работы

Оценить возможности пространственного моделирования значений запасов стволочной древесины и наземной древесной биомассы в лесах на основе разносезонных мультиспектральных спутниковых изображений Landsat.

Совместное использование данных ДЗЗ, полученных в разные периоды года, потенциально позволяет в той или иной мере автоматически учитывать пространственные различия в породной и возрастной структуре, а также продуктивности лесов территории в процессе регрессионного моделирования количественных показателей древостоев.

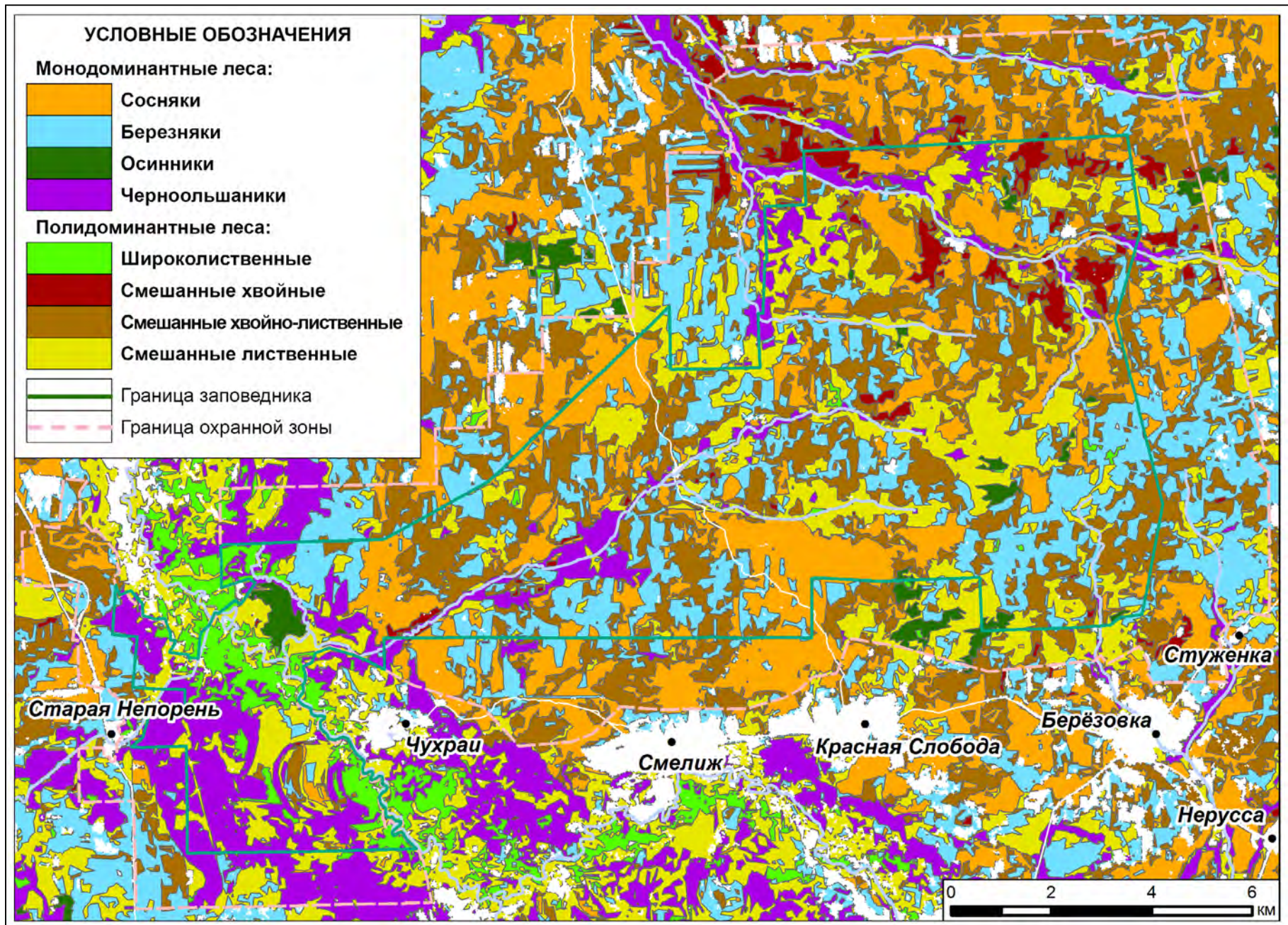
Величины запаса и древесной биомассы – одни из основных количественных показателей лесных экосистем, являющиеся прямыми индикаторами их ресурсного и экологического потенциала.

# Территория исследования





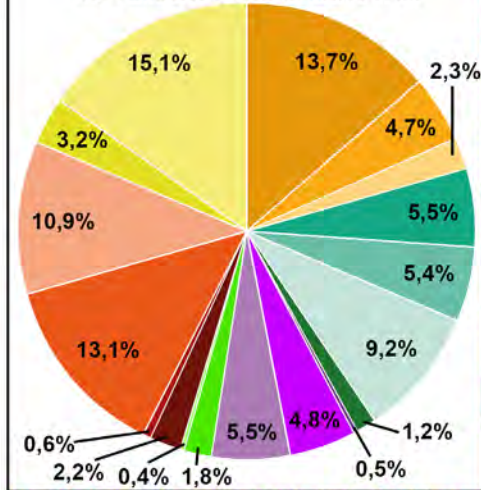
# Территория исследования





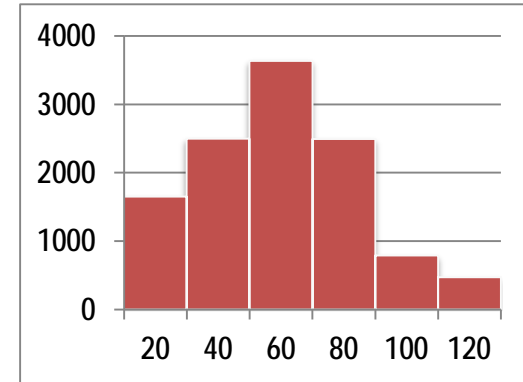
# Территория исследования

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ПО ТЕМАТИЧЕСКИМ КЛАССАМ

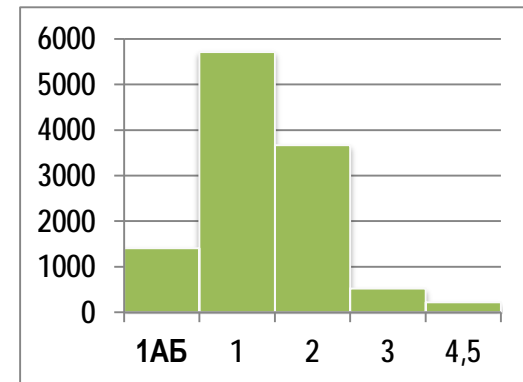


Доминанты	С	Б	ОС	ОЛЧ	ШЛ	СмХ	СмХЛ	СмЛ
Число пород								
1	Orange	Teal	White with X	Purple	White with X	White with X	White with X	White with X
2	Orange	Teal	White with X	Purple	Light Green	Dark Red	Orange	Yellow
3 и более	Orange	Light Teal	Dark Green	Purple	Light Green	Dark Red	Light Orange	Yellow

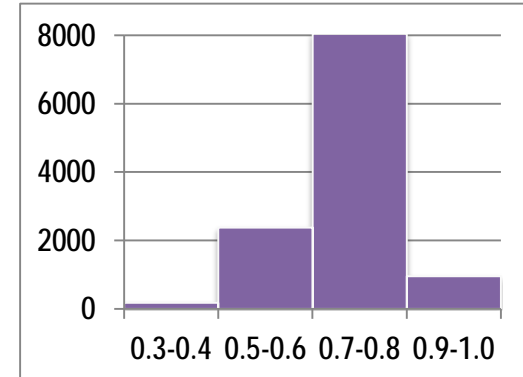
ВОЗРАСТ



БОНИТЕТ



ПОЛНОТА



# Исходные данные и методы

- Таксационные данные

Геопривязанная сеть лесоустроительных выделов с таксационными характеристиками за 2006 год. Значения наземной биомассы для выделов были пересчитаны из значений запасов с использованием конверсионных коэффициентов для основных лесообразующих пород России (*Замолодчиков и др., 2003*).

- Спутниковые данные

Шесть разносезонных (конец января, начало апреля, начало и конец мая, август, сентябрь) безоблачных сцен Landsat-OLI (продукт уровня S2) из открытого архива Геологической службы США (USGS) за период с 2014 по 2018 годы, содержащие измерения в красном (**RED**, 0.63–0.69 мкм), ближнем инфракрасном (**NIR**, 0.75–0.90 мкм) и среднем инфракрасном (**SWIR**, 1.55–1.75 мкм) диапазонах.

- Методы

Для регрессионного моделирования: случайные леса (*Breiman, 2001*) и генерализованные аддитивные модели (*Hastie, Tibshirani, 1986*).

Для калибровки смоделированных значений: метод повторных медиан (*Siegel, 1982*).

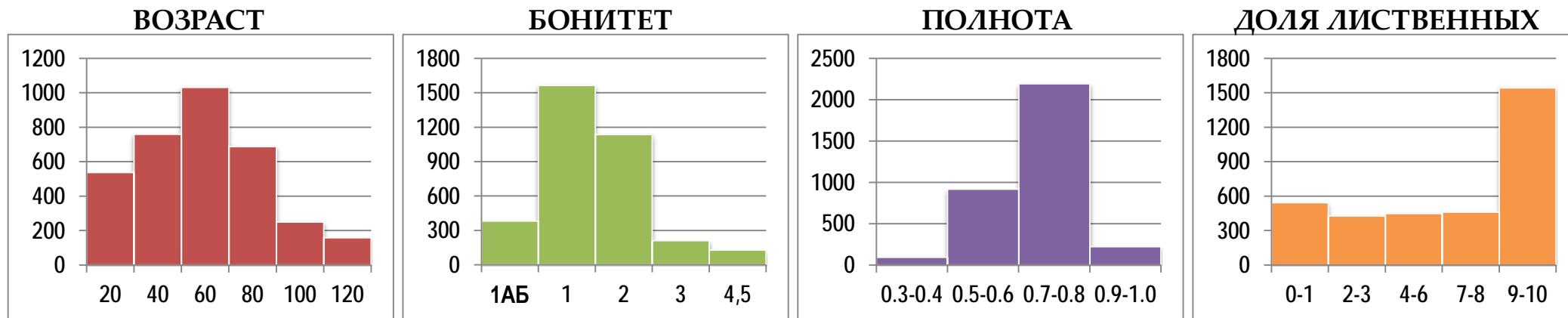


# Актуализация значений запасов и биомассы

Регрессионная модель значений запаса ( $V$ ) на основе величин возраста ( $A$ ), бонитета ( $B$ ), полноты ( $C$ ) и соотношения хвойных и лиственных пород ( $S$ ) в насаждениях:

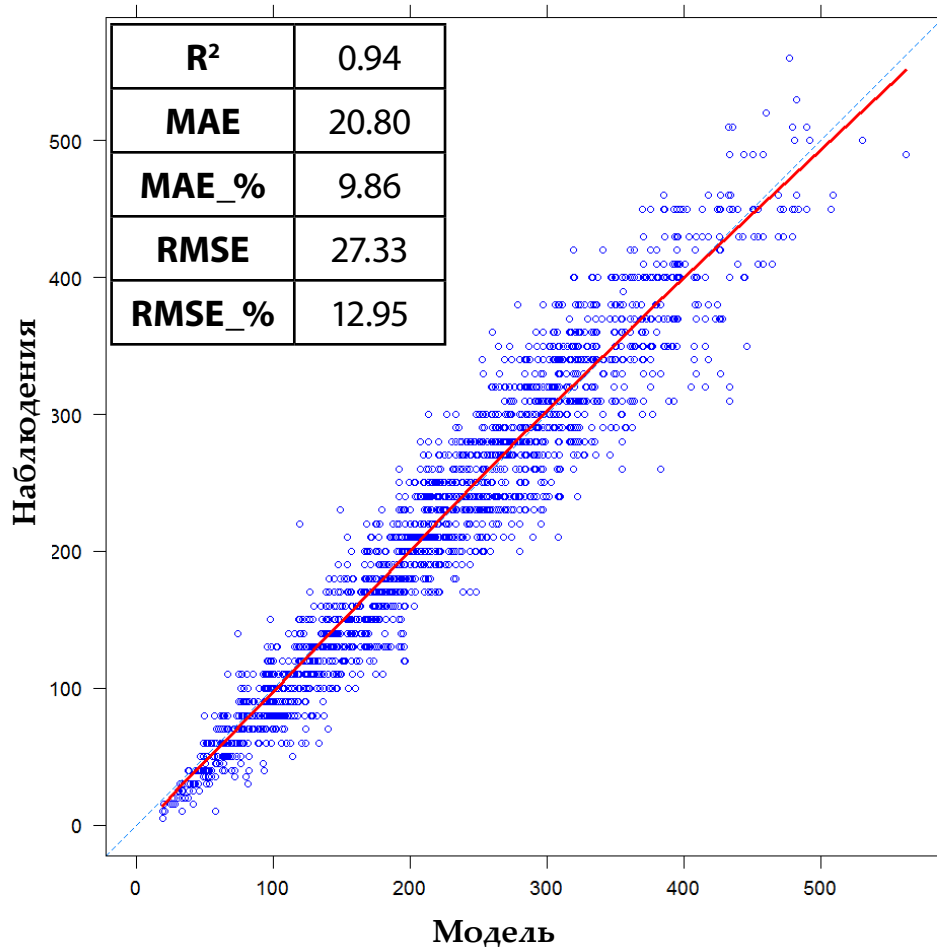
$$\log(V) = \text{spline}(A) + k_1 B + k_2 C + k_3 S + \varepsilon$$

Здесь  $\text{spline}()$  – сглаживающая функция,  $k$  – коэффициенты регрессии,  $\varepsilon$  – свободный член.

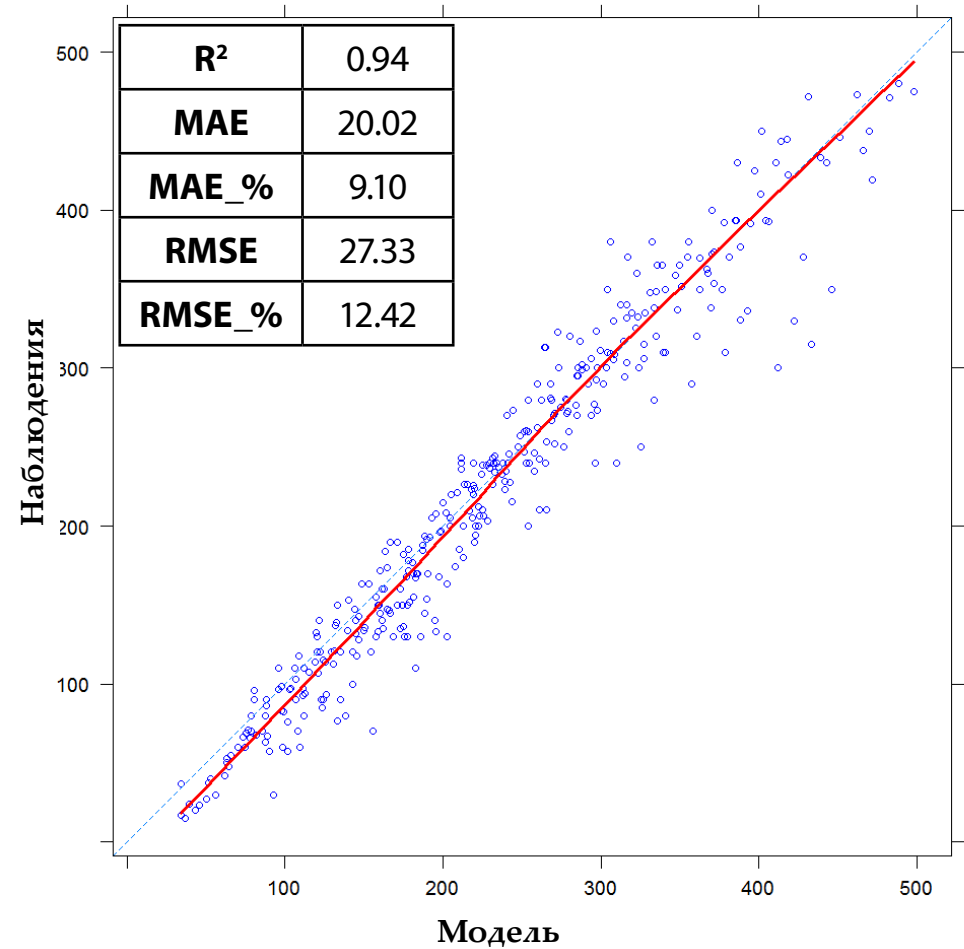


# Актуализация значений запасов (+10 лет)

## Обучение (GAM)



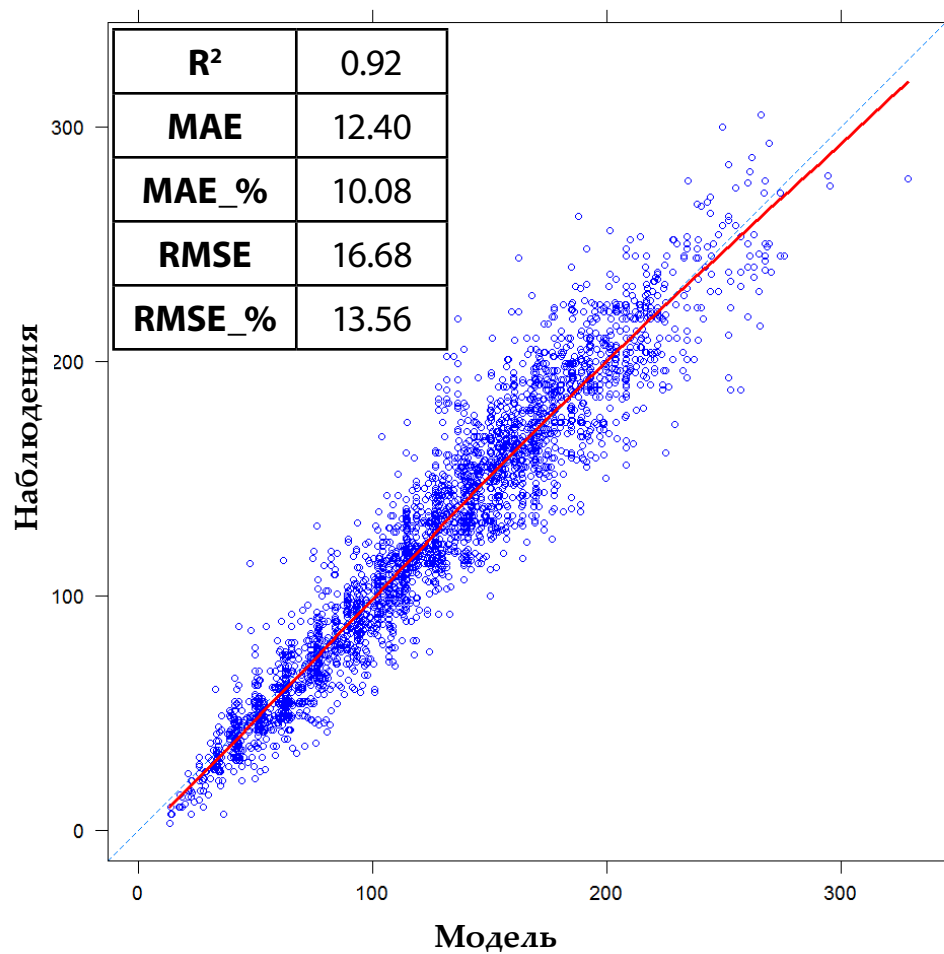
## Контроль (среднее в группах)



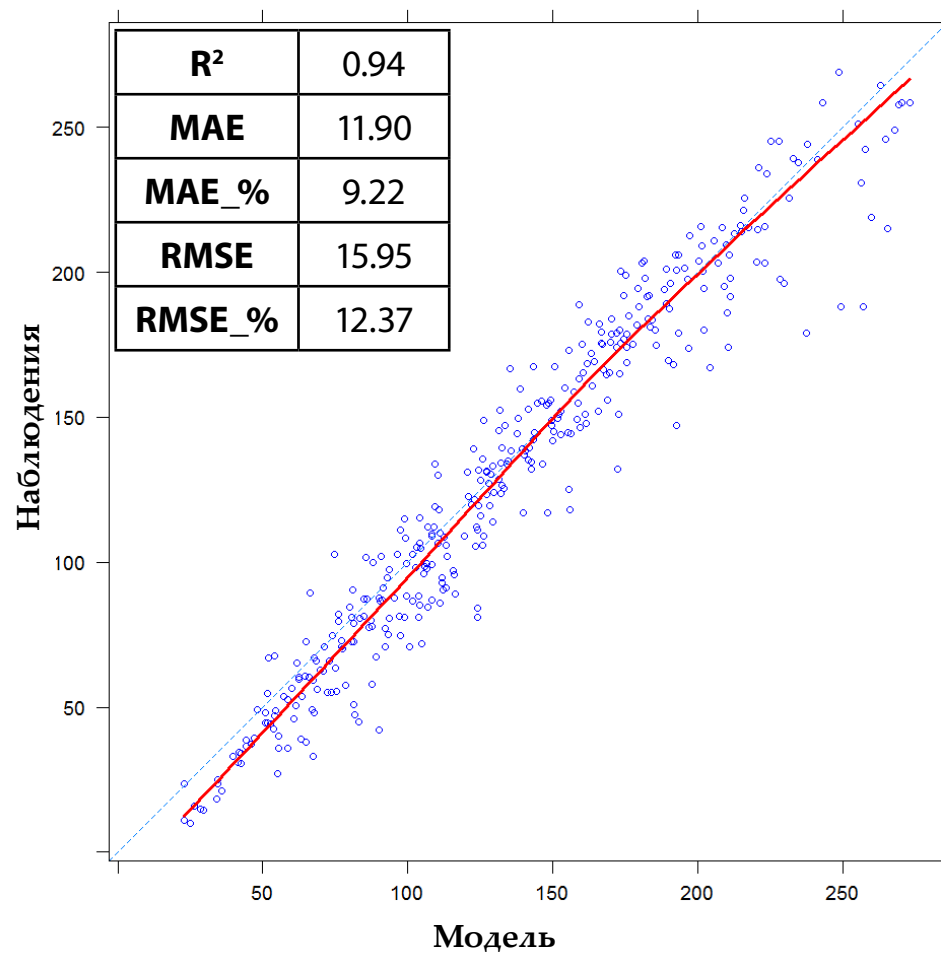


# Актуализация значений наземной биомассы (+10 лет)

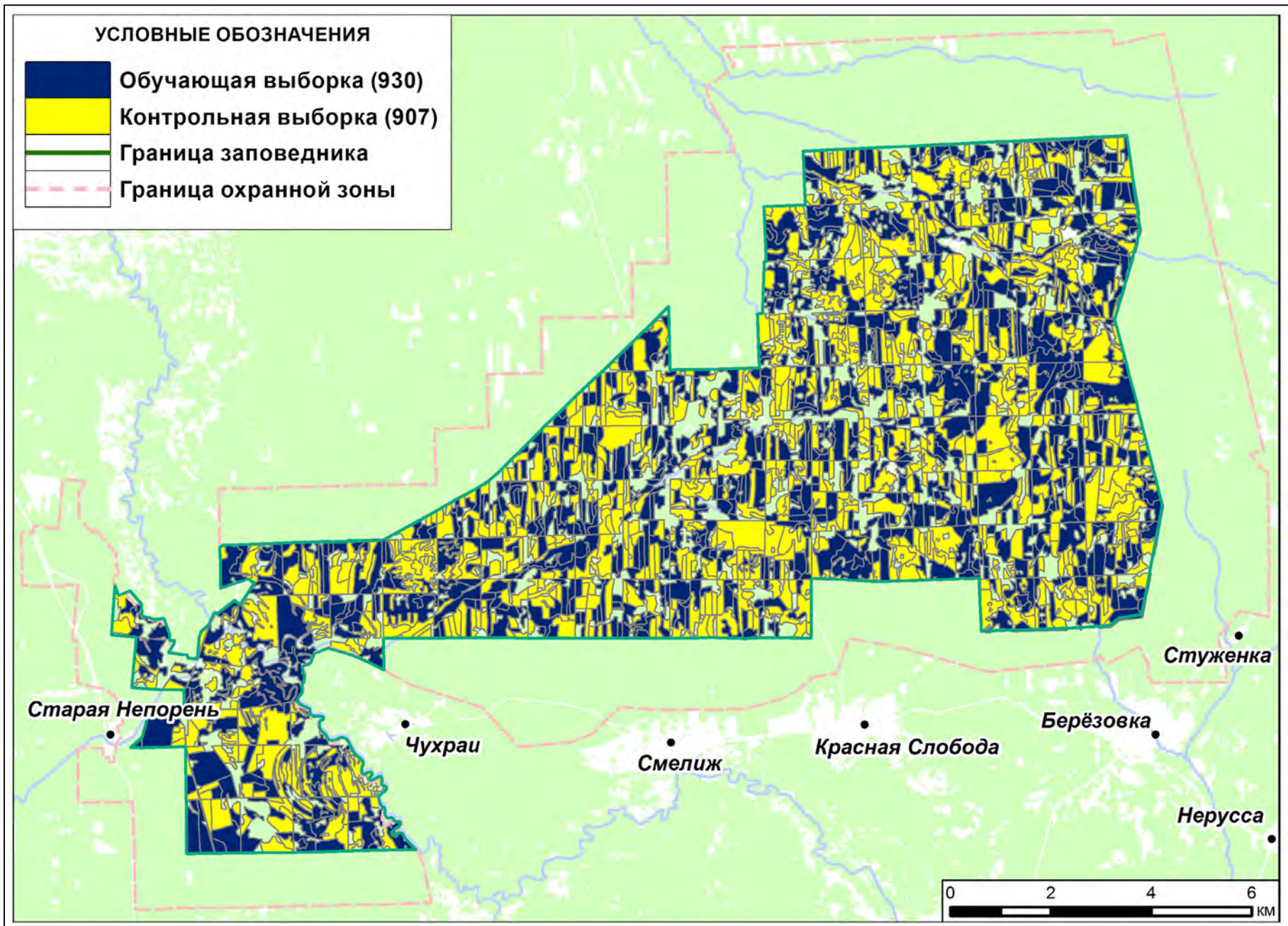
## Обучение (GAM)



## Контроль (среднее в группах)



# Моделирование значений запасов и биомассы

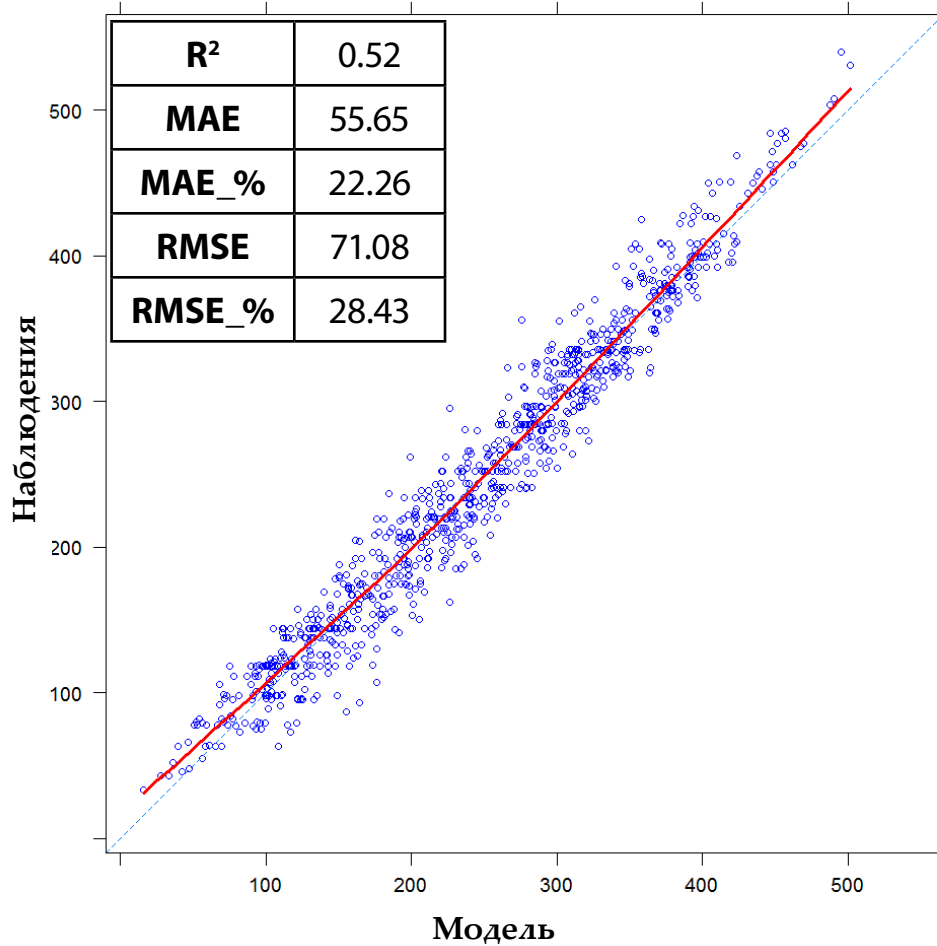




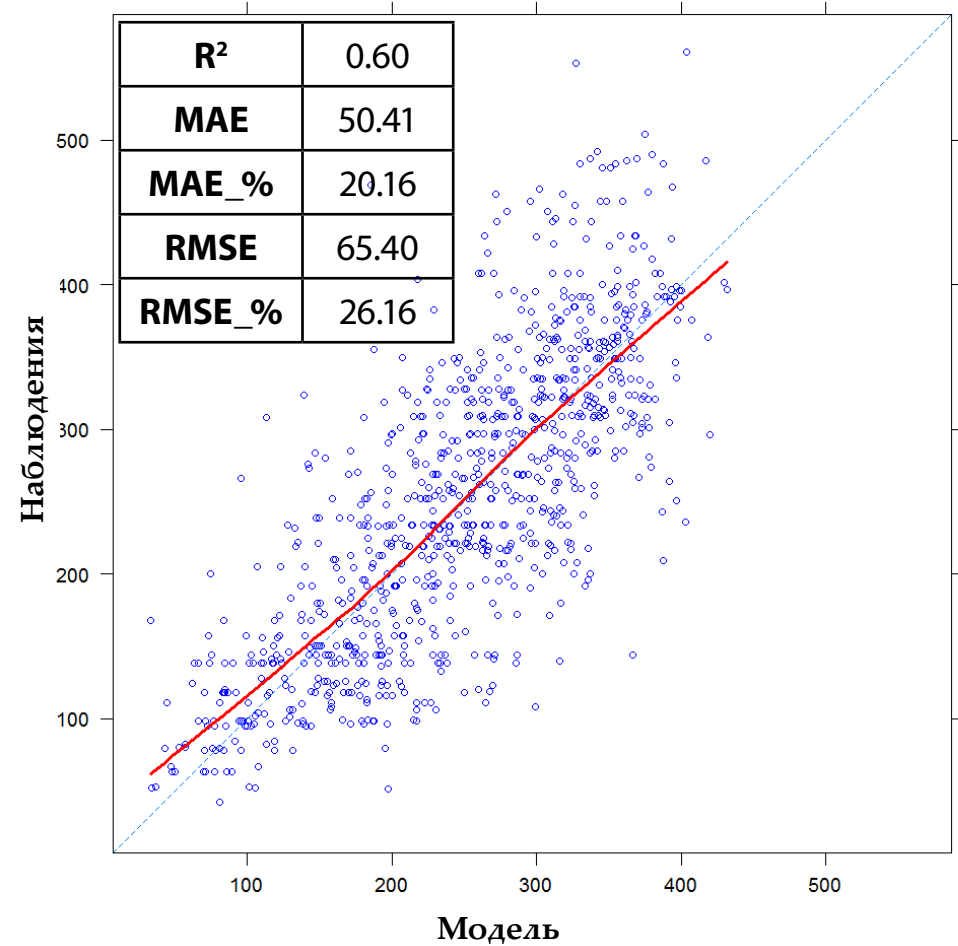
# Моделирование значений запасов

Спутниковые данные (6 дат по 3 канала)

Обучение (RF)



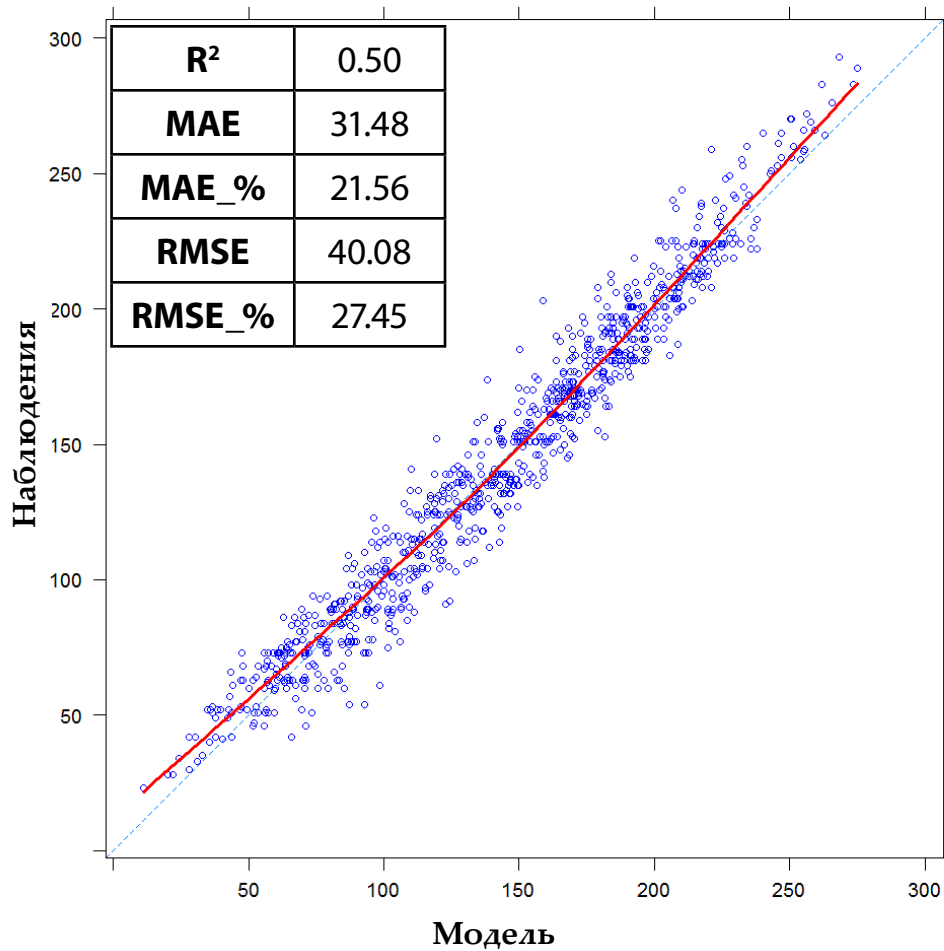
Контроль



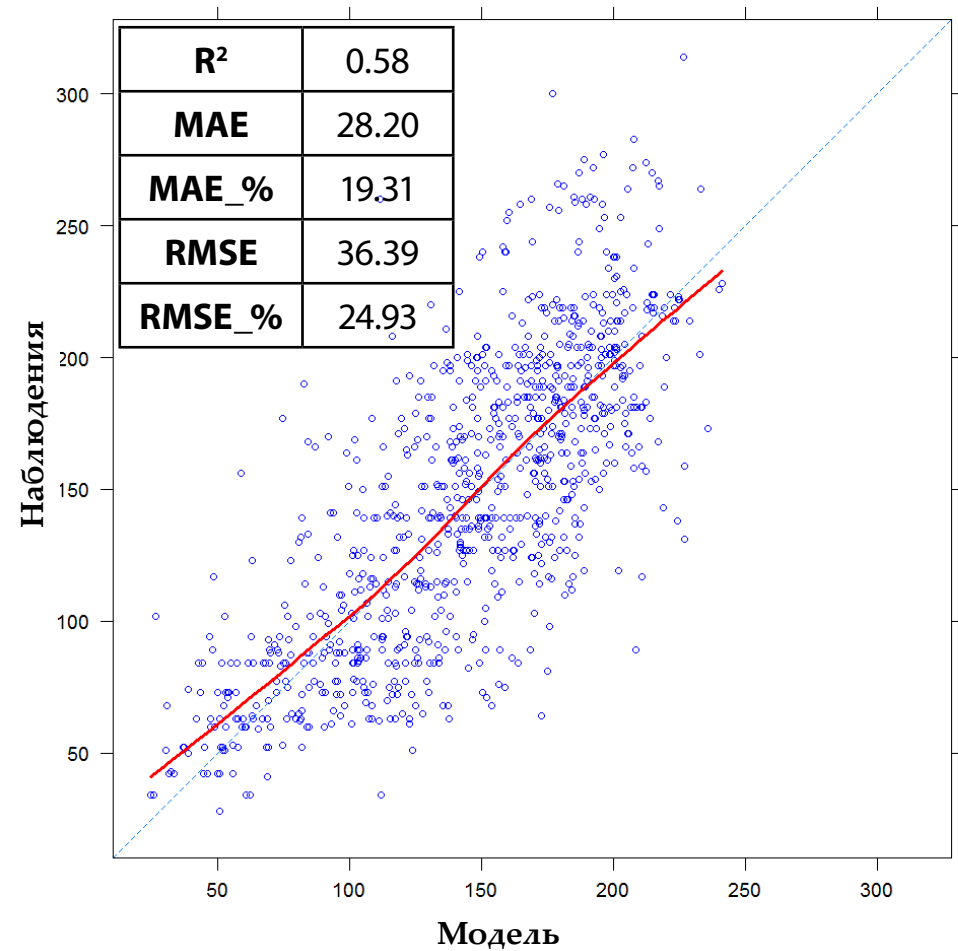
# Моделирование значений наземной биомассы

Спутниковые данные (6 дат по 3 канала)

Обучение (RF)

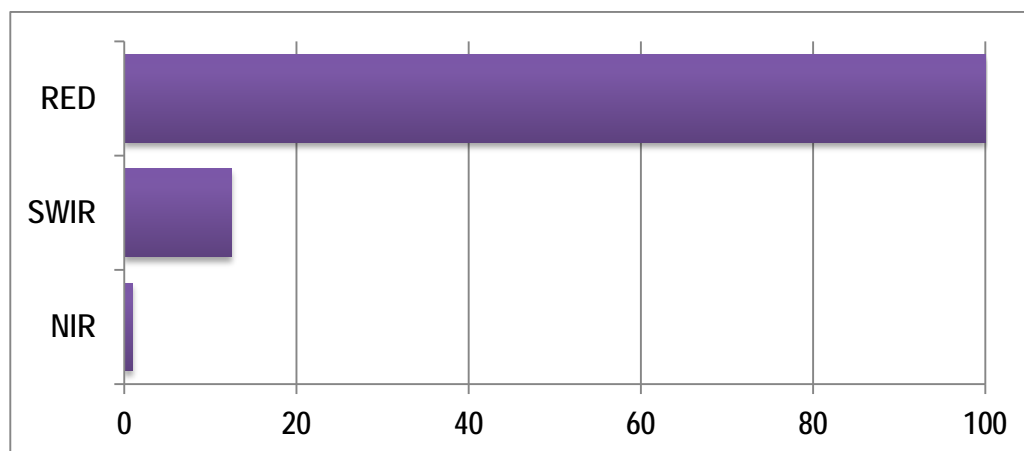
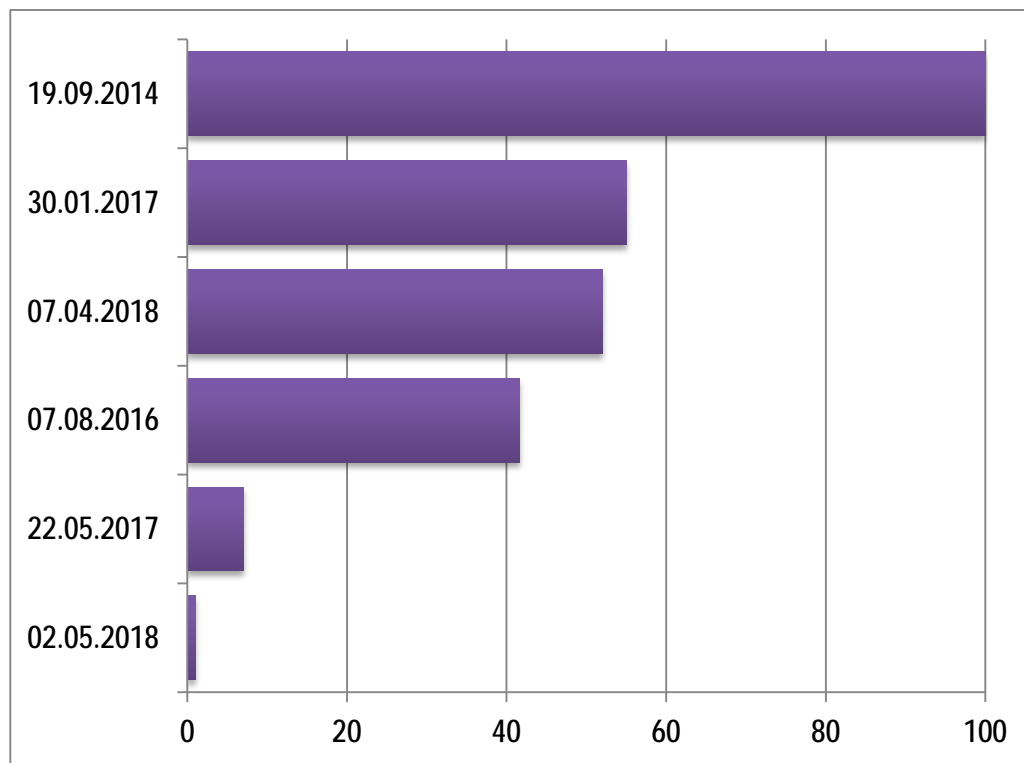
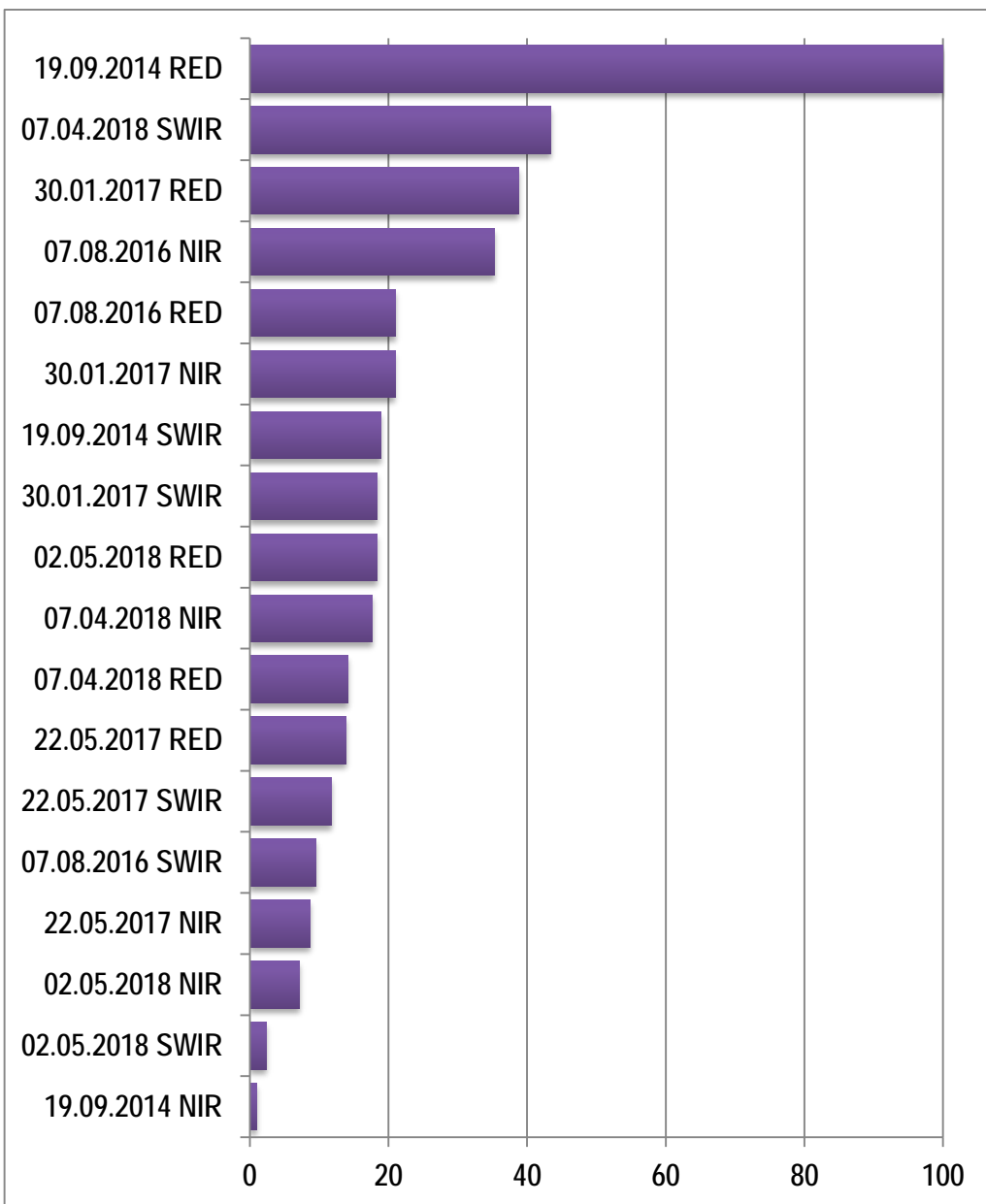


Контроль

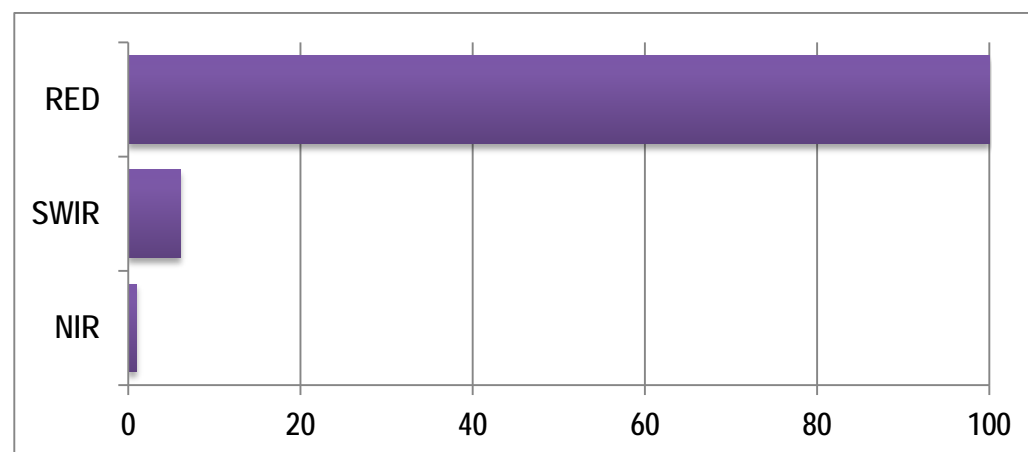
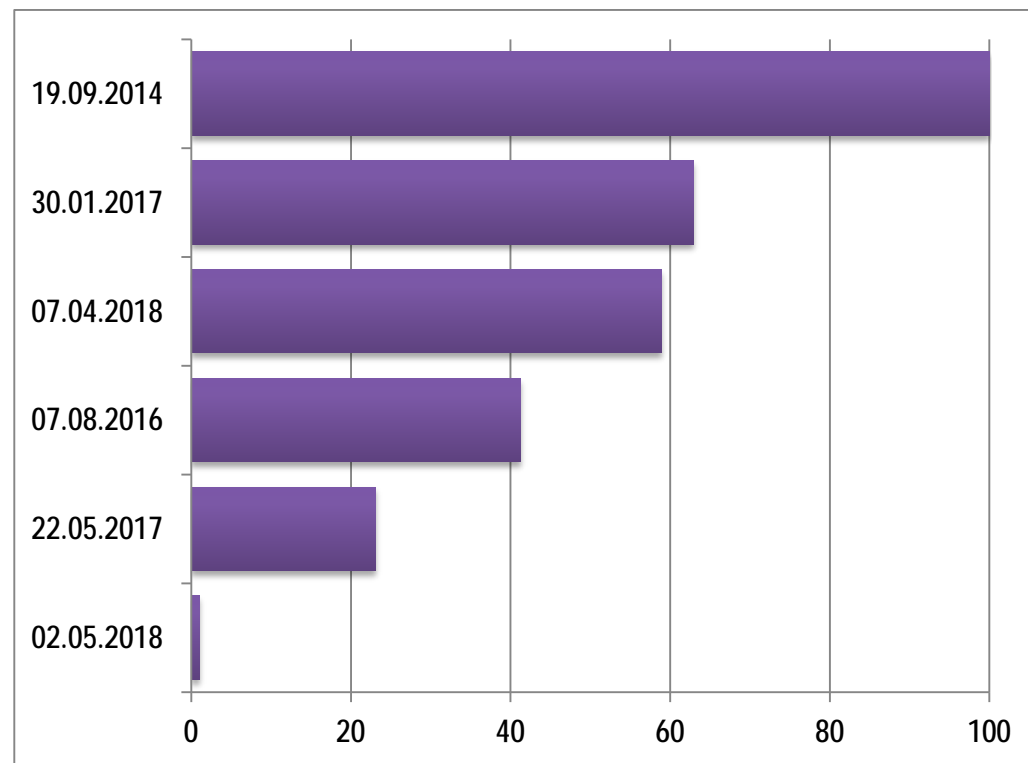
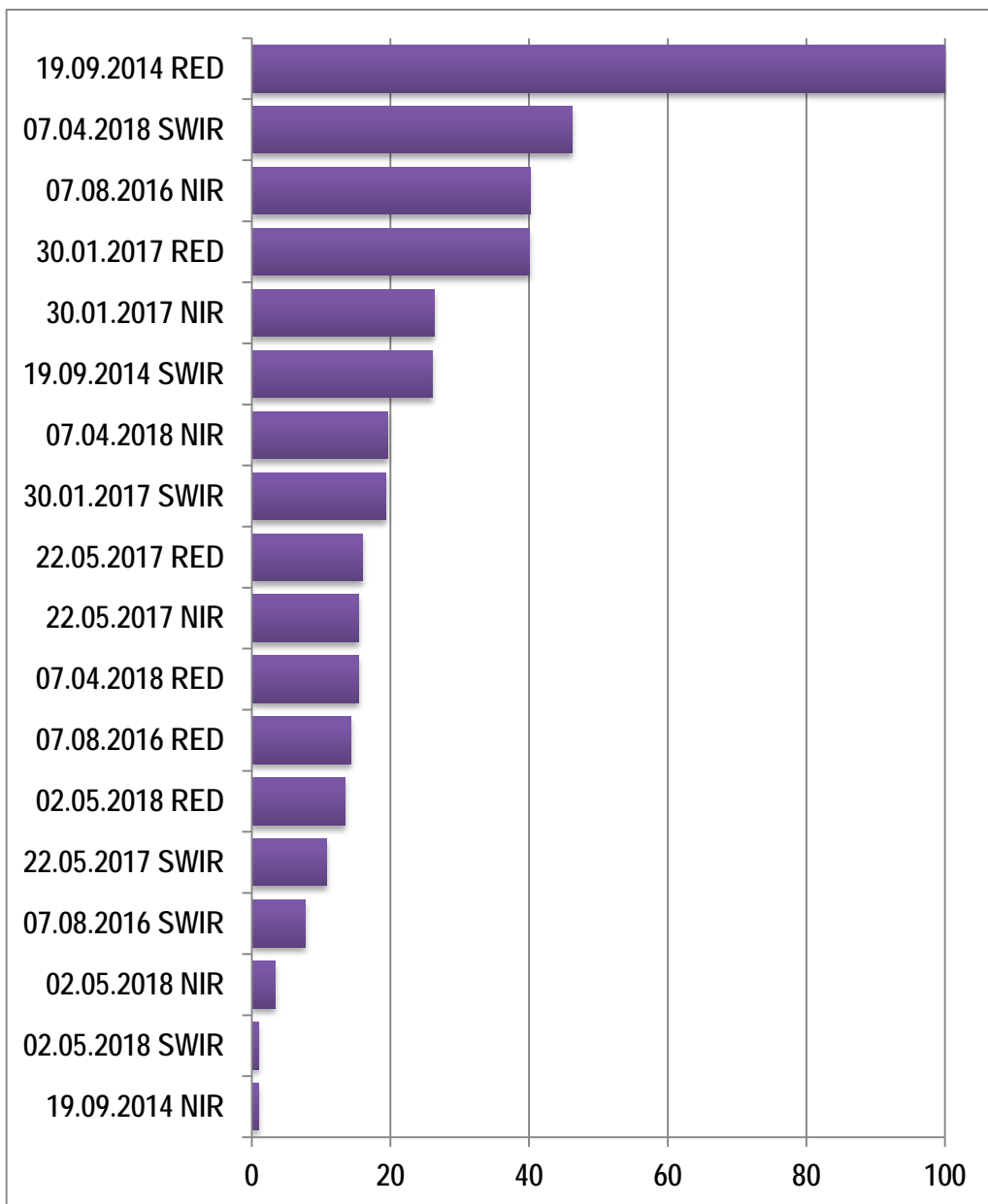




# Информативность переменных (запас)



# Информативность переменных (биомасса)

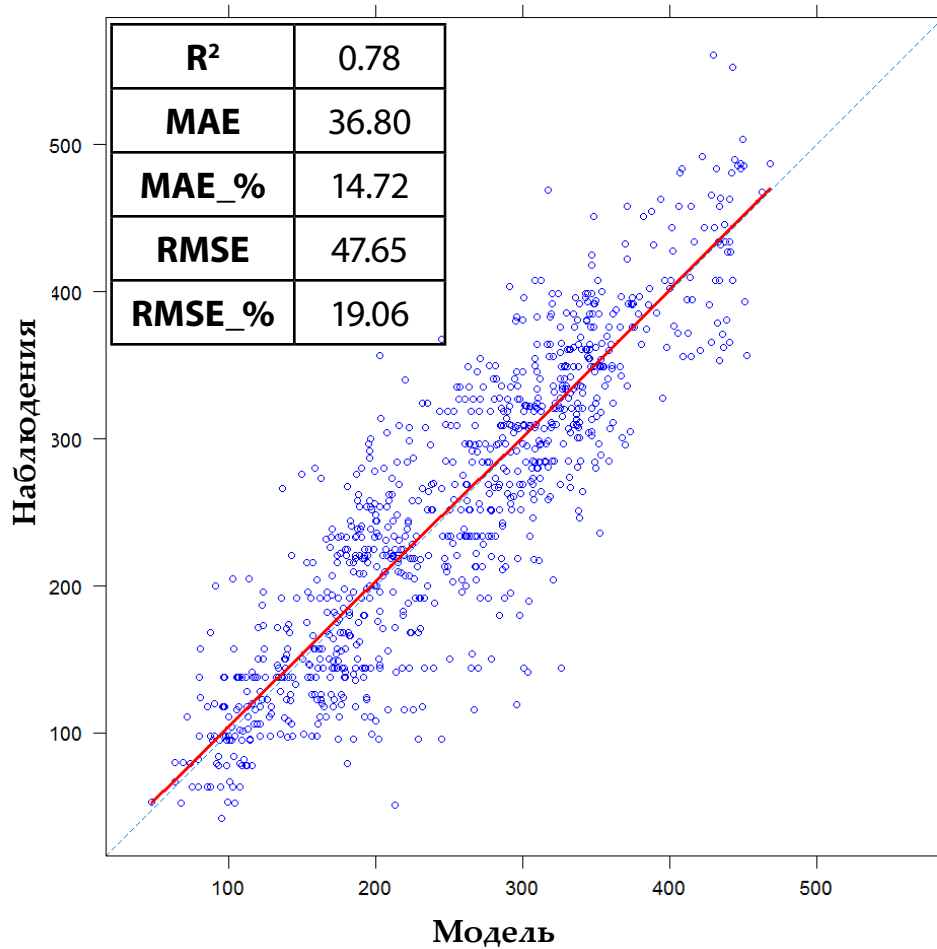




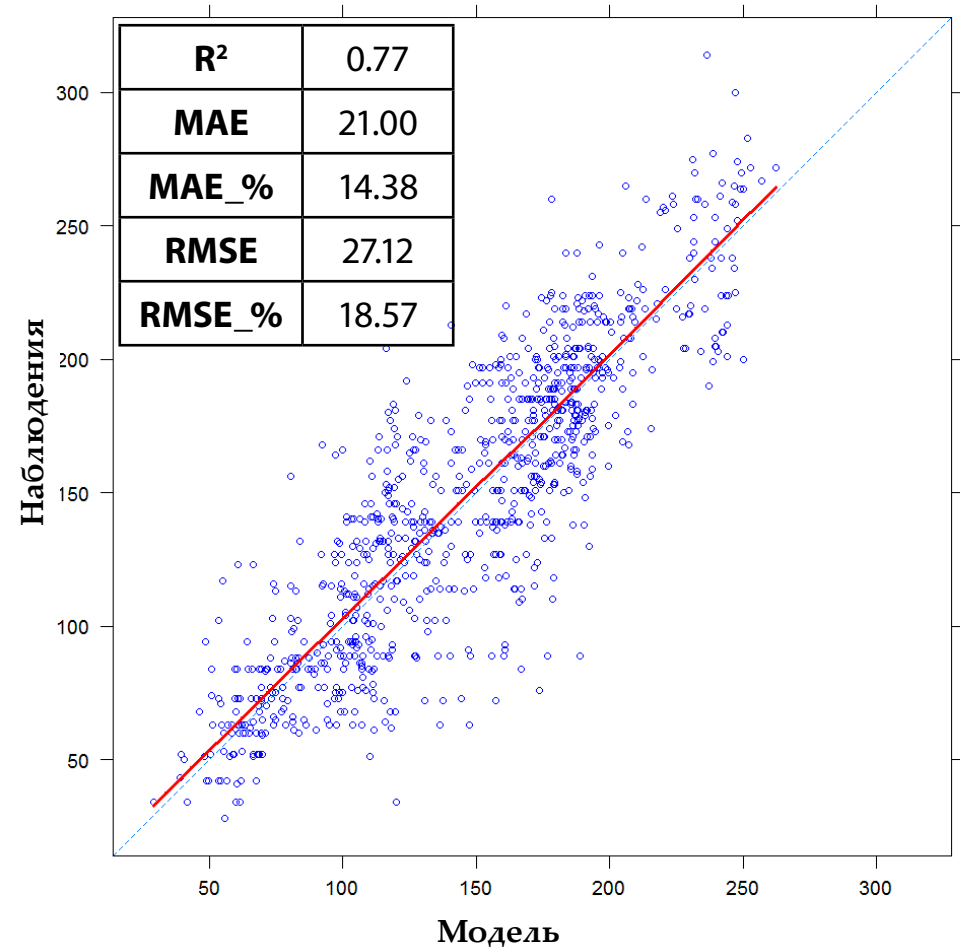
# Моделирование значений запаса и биомассы

## Спутниковые данные + бонитет

### Контроль (запас)



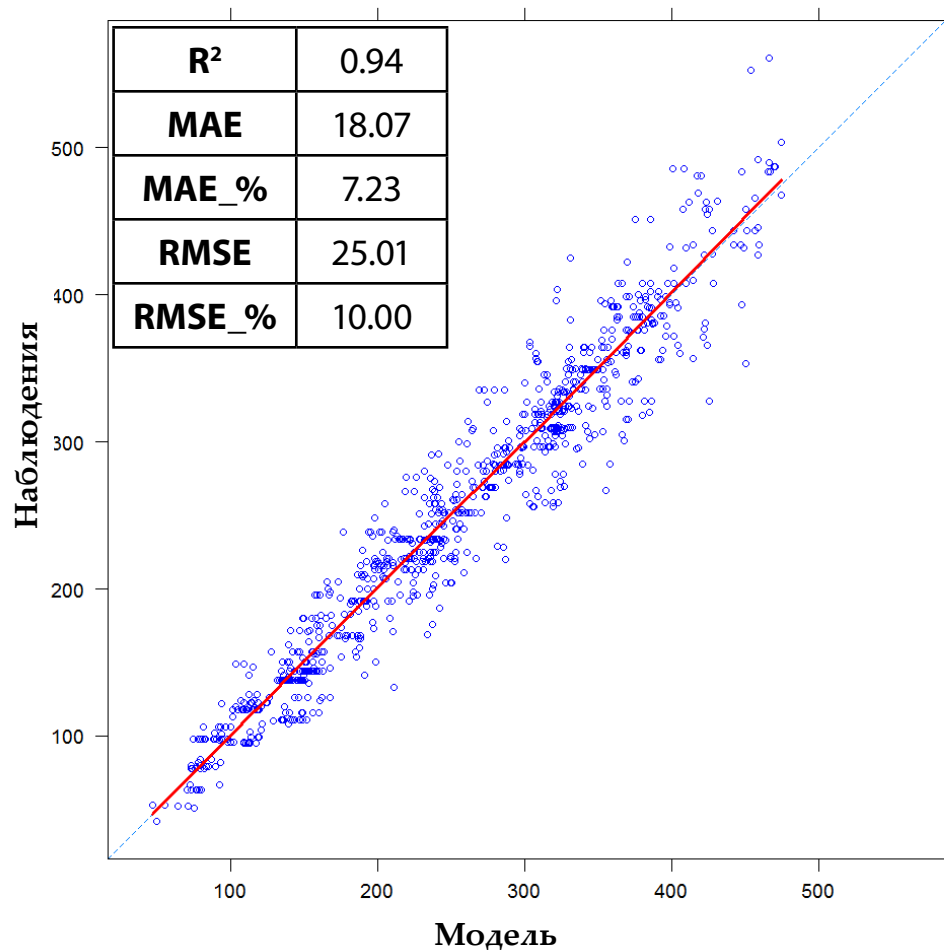
### Контроль (биомасса)



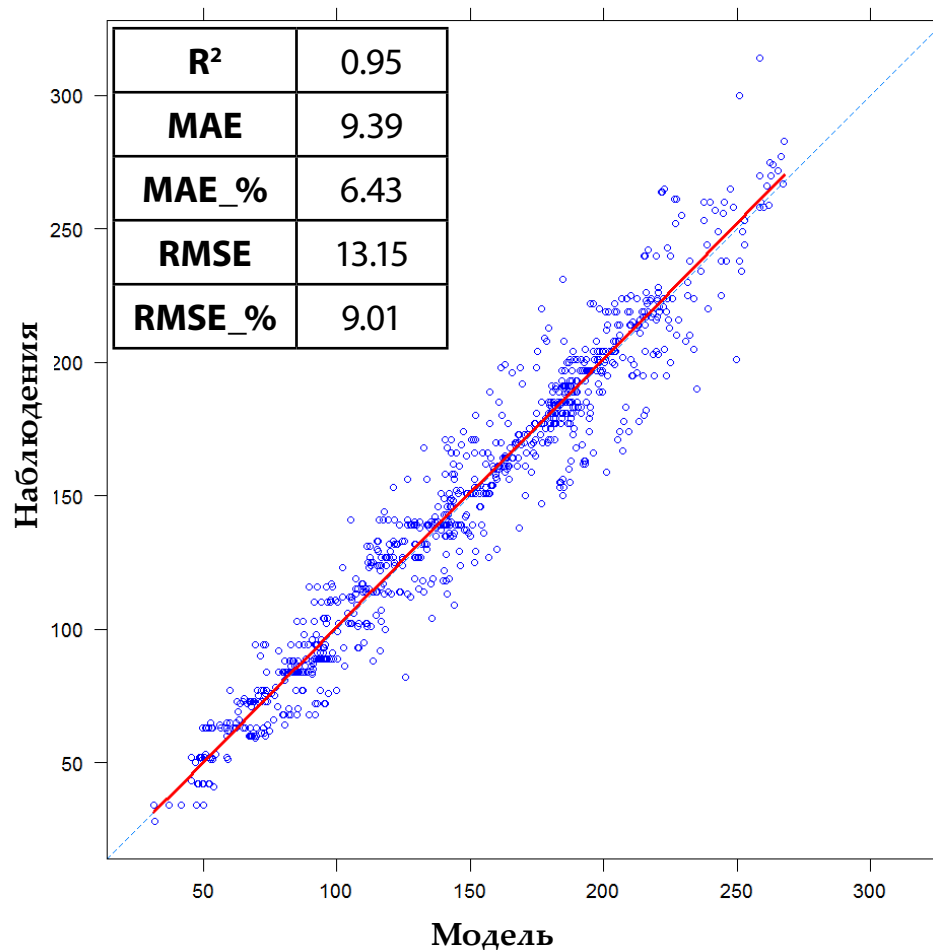
# Моделирование значений запаса и биомассы

Спутниковые данные + бонитет + возраст

Контроль (запас)



Контроль (биомасса)



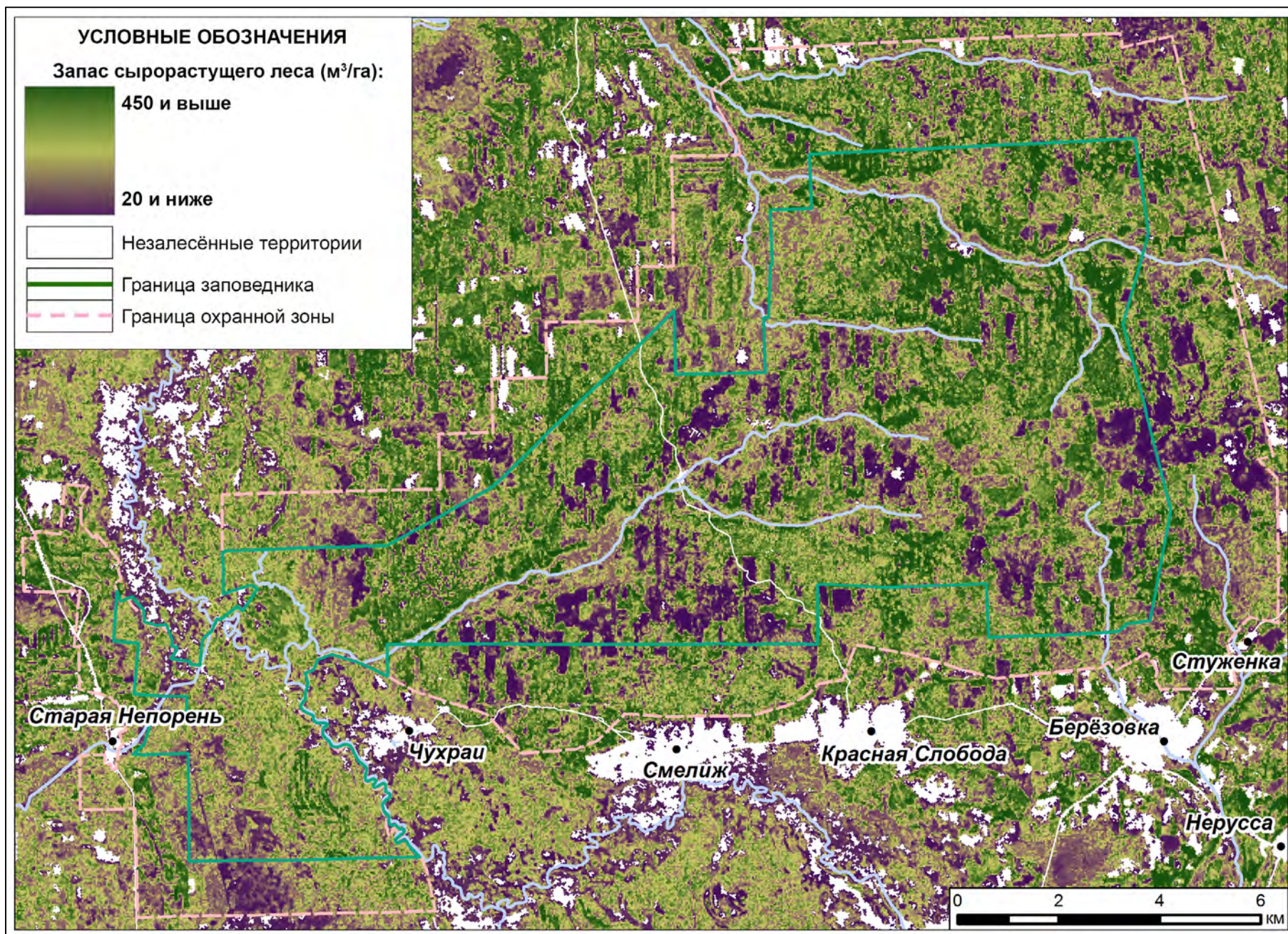
# Сводные таблицы результатов моделирования

<b>ЗАПАС</b>	<b>Landsat</b>	<b>Landsat +Бонитет</b>	<b>Landsat +Бонитет +Возраст</b>	<b>Landsat хвойные</b>	<b>Landsat лиственные</b>	<b>Landsat хв.+листв.</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.60</b>	<b>0.78</b>	<b>0.94</b>	<b>0.79</b>	<b>0.67</b>	<b>0.59</b>
<b>MAE</b>	<b>50.41</b>	<b>36.80</b>	<b>18.07</b>	<b>41.26</b>	<b>40.79</b>	<b>52.77</b>
<b>MAE_%</b>	<b>20.16</b>	<b>14.72</b>	<b>7.23</b>	<b>38.92</b>	<b>28.52</b>	<b>21.11</b>
<b>RMSE</b>	<b>65.40</b>	<b>47.65</b>	<b>25.01</b>	<b>64.13</b>	<b>53.74</b>	<b>67.19</b>
<b>RMSE_%</b>	<b>26.16</b>	<b>19.06</b>	<b>10.00</b>	<b>60.50</b>	<b>37.58</b>	<b>26.88</b>

<b>БИОМАССА</b>	<b>Landsat</b>	<b>Landsat +Бонитет</b>	<b>Landsat +Бонитет +Возраст</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.58</b>	<b>0.77</b>	<b>0.95</b>
<b>MAE</b>	<b>28.20</b>	<b>21.00</b>	<b>9.39</b>
<b>MAE_%</b>	<b>19.31</b>	<b>14.38</b>	<b>6.43</b>
<b>RMSE</b>	<b>36.39</b>	<b>27.12</b>	<b>13.15</b>
<b>RMSE_%</b>	<b>24.93</b>	<b>18.57</b>	<b>9.01</b>

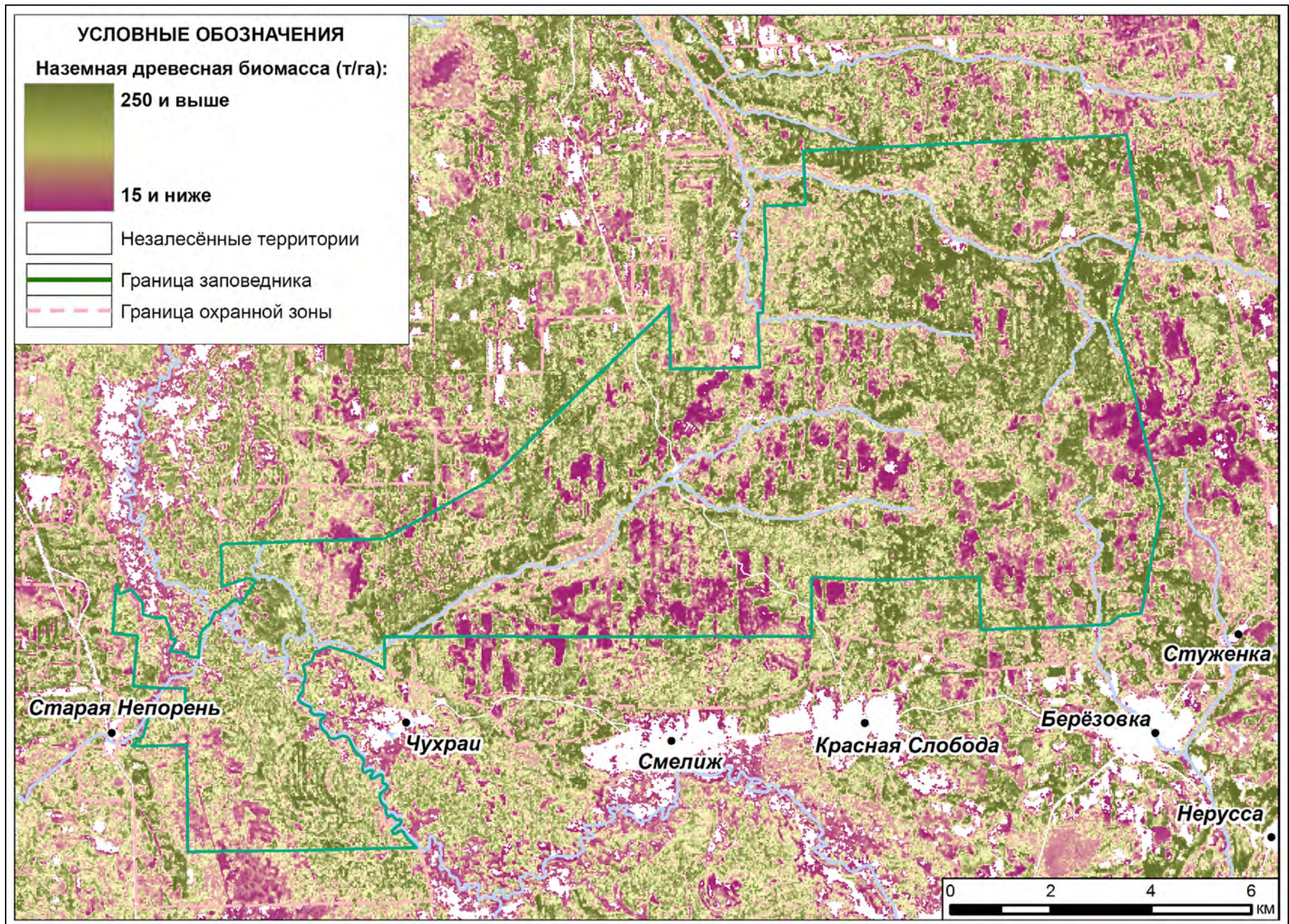


# Пространственное моделирование запасов





# Пространственное моделирование древесной биомассы





# Выводы

- Разносезонные спутниковые данные Landsat позволяют получать пространственные оценки величин запасов стволовой древесины и наземной биомассы с точностью до  $\pm 25\%$  от среднего значения по выборке без предварительной стратификации лесов территории по показателям породной структуры, возраста и производительности.
- Формальные показатели точности регрессионных моделей могут быть значительно улучшены за счет добавления переменных, характеризующих бонитет и возраст древостоев (вплоть до  $\pm 20\%$  и  $\pm 10\%$  соответственно).
- Наиболее информативными для моделирования спектральными признаками оказались разносезонные значения красного канала Landsat, наиболее информативными периодами года – ранняя осень, а также снежная зима и ранняя весна.
- Для надежной оценки и верификации полученных результатов требуется проведение работ по закладке значительного количества контрольных наземных пробных площадей.





XVI Всероссийская Открытая конференция  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Секция «Дистанционное зондирование растительных  
и почвенных покровов»

***СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !***

*Е.А. Гаврилюк, Д.В. Ершов, А.В. Горнов*

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, г. Москва  
e-mail: egor@ifi.rssi.ru

Работа выполнена за счет средств проекта РФФИ № 15-29-02697 «Выявление роли экосистемных инженеров и биоразнообразия в функционировании лесов на основе синтеза наземных и спутниковых данных» (сбор наземных данных и тематическая обработка) и ГЗ ЦЭПЛ РАН №0110-2018-0001 «Концепция спутникового мониторинга состояния и динамики лесных экосистем» (подготовка исходных спутниковых данных)

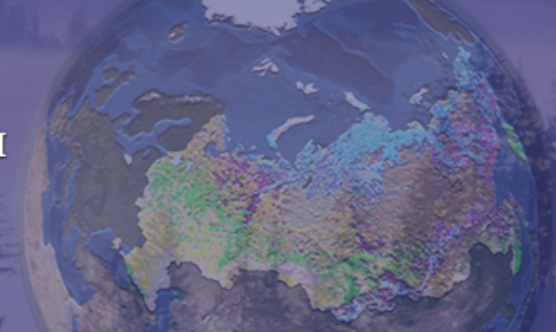
Москва, ИКИ РАН, 12 – 16 ноября 2018 года



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ

ЦЭПЛ РАН  
МОСКВА



*С 16 по 18 апреля 2019 года ЦЭПЛ РАН совместно с ИКИ РАН будет проводить VII Всероссийскую научную конференцию (с международным участием) «Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии», посвященную памяти выдающегося ученого-лесоведа, академика РАН А.С. Исаева.*

Основные направления работы конференции:

- Современные и перспективные средства и методы зондирования лесного покрова.
- Методы комплексной обработки данных ДЗЗ различного пространственного, спектрального и временного разрешения для изучения лесов.
- Дистанционные и геоинформационные методы в оценке ресурсного потенциала, биологического разнообразия и экосистемных функций леса.
- Облачные технологии хранения, обработки и представления продуктов дистанционного зондирования Земли и наземной информации о лесах.
- ДЗЗ и ГИС стартапы в лесном хозяйстве и экологии.
- Современные методы и технологии дистанционного обучения использованию и обработки данных ДЗЗ и ГИС в интересах лесного хозяйства и экологии.

Подробная информация о конференции размещена на сайте ЦЭПЛ РАН:  
[www.cepl.rssi.ru](http://www.cepl.rssi.ru)

Предварительная регистрация – до 30 ноября 2018 г.