



**XXI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

СЕКЦИЯ «МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВОВ»

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОВ ДЛЯ ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ В РАМКАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Гаврилюк Е.А.

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

Москва, ИКИ РАН, 15 ноября 2023 года

ВВЕДЕНИЕ

29 октября 2022 г. Председателем Правительства Российской Федерации, М. В. Мишустиним, подписано распоряжение № 3240-р об утверждении **важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».**

Цель проекта:

Разработать национальную систему мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации на основе интеграции данных наземного мониторинга, данных дистанционного зондирования различного разрешения, математического моделирования.

Задачи проекта:

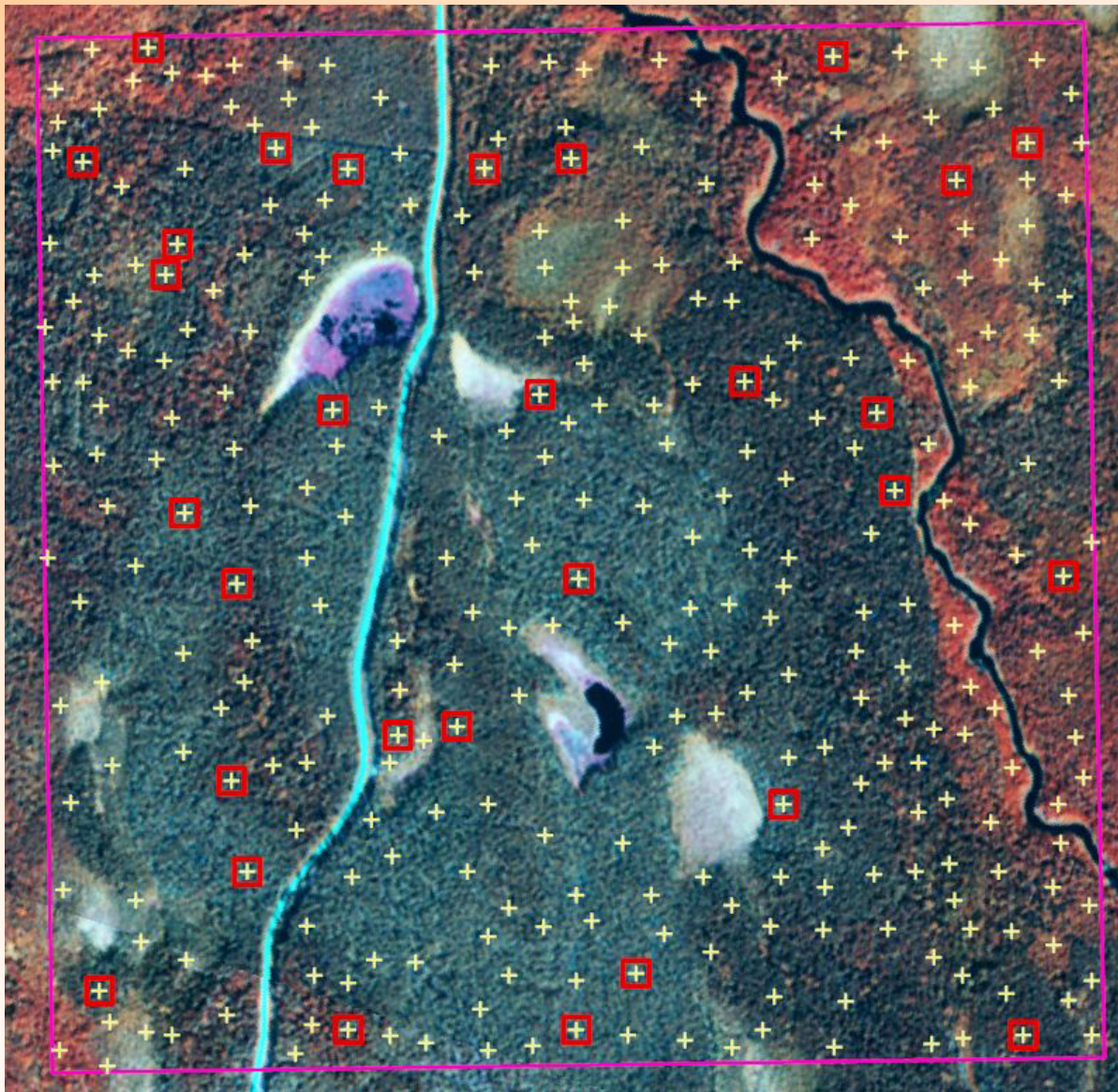
- **Создание сети мониторинга** пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России на основе стандартизированной инфраструктуры мирового уровня;
- **Создание признанных на международном уровне методов интеграции данных** наземных измерений, дистанционного зондирования и математического моделирования для оценки пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России;
- **Создание единой информационно-аналитической системы** для сбора, хранения, обработки и анализа данных мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России;
- **Разработка прогнозов динамики** пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России при разных сценариях землепользования и изменений климата.

СЕТЬ МОНИТОРИНГА И ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ



Цель работы – оценить эффективность геопространственного моделирования различных характеристик лесных экосистем с использованием данных ДЗЗ разного типа для тестовых полигонов интенсивного уровня в рамках создаваемой сети мониторинга климатически активных веществ.

ТЕСТОВЫЕ ПОЛИГОНЫ ИНТЕНСИВНОГО УРОВНЯ (ТИП I)



500 м

Кивачский ТП

Различные материалы спутниковой и аэросъемки высокой и сверхвысокой детальности в сочетании с наземными пробными площадями (ПП) двух видов:

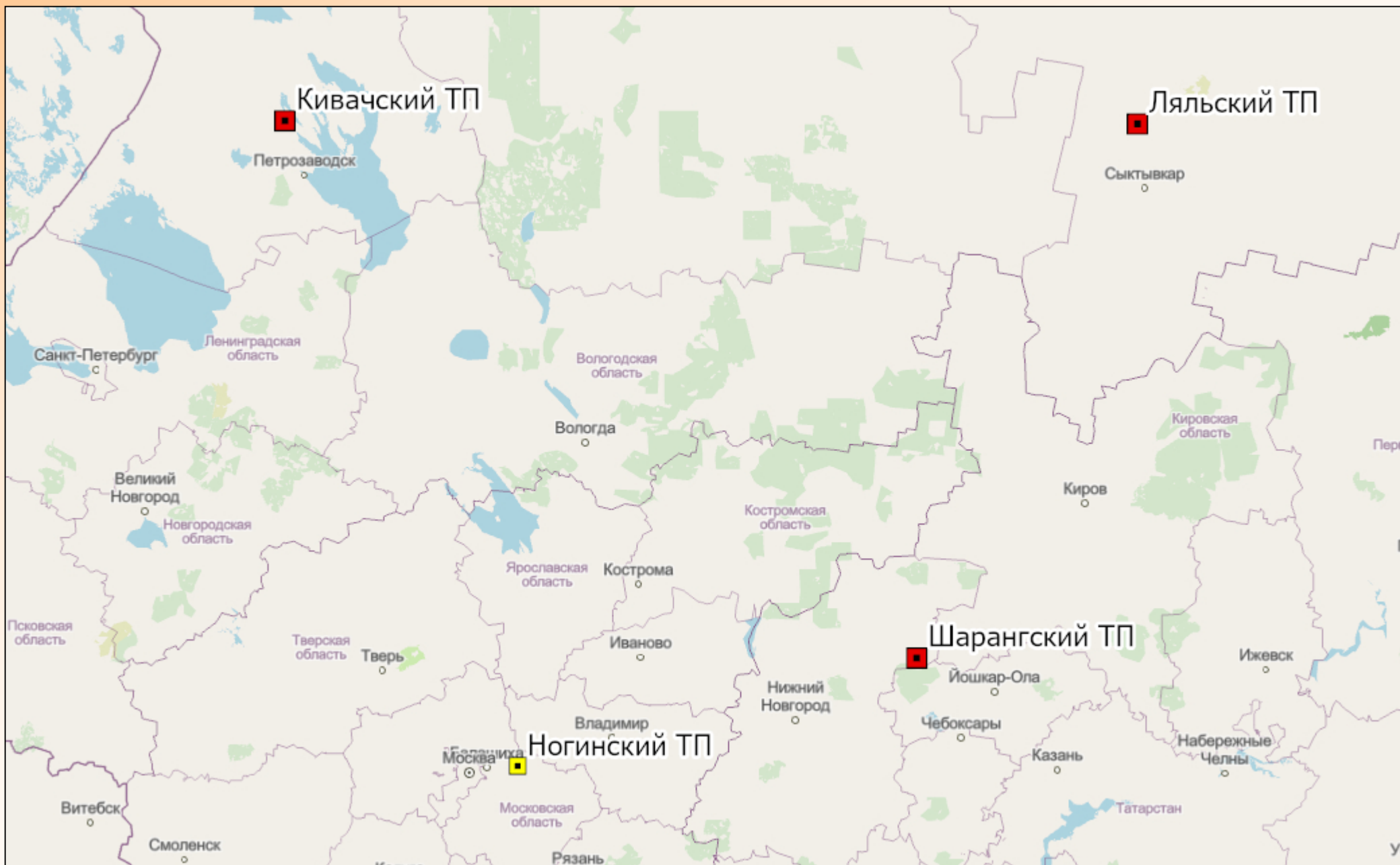
+ Рекогносцировочные (РПП)

Круговые площадки постоянного или переменного радиуса, которые закладываются из расчета (не более) 1 ПП на 1 га для экспресс-оценки характеристик лесов на территории полигона и выбора мест закладки постоянных ПП.

□ Постоянные (ППП)

Прямоугольные площадки площадью не менее 0.25 га, которые закладываются из расчета ~10% от числа РПП для детальных измерений показателей необходимых для оценки пулов углерода лесной экосистемы.

ЛЕСНЫЕ ТЕСТОВЫЕ ПОЛИГОНЫ 2023



ПОЛЕВЫЕ ДАННЫЕ С РПП

Таксация:

Биометрические характеристики древостоя (диаметр, высота, возраст) по ярусам и элементам леса, обобщенная информация о подросте, подлеске, валеже и пнях.

Геоботаника:

Проективное покрытие видов по ярусам и общая характеристика площадки – положение в рельефе, наличие нарушений различного характера и другие особенности.

Почвы:

Мощность подстилки и верхних подгоризонтов, тип почвы, гранулометрический состав, каменистость, следы углей.

Методики полевых работ:

<https://ritm-c.ru/results/methods/>



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЗЗ

Спутниковые данные:

Sentinel-1 – разносезонные радарные данные С-диапазона:

- **VV, VH** – коэффициенты обратного рассеяния в двух режимах поляризации;
- **VV/VV + VH, VH/ VH + VV** – их нормализованные отношения;
- **GLCM** – основные текстурные признаки Харалика (8 метрик).

Sentinel-2 – разносезонные мультиспектральные данные видимого, ближнего и среднего инфракрасного диапазонов:

- **B2:8, 8A, 11, 12** – коэффициенты спектральной яркости в 10 каналах;
- **NRI** – попарные нормализованные отношения каналов (45).

Copernicus DEM – ЦММ на основе различных спутниковых продуктов (SRTM, ALOS и др):

- **Абсолютная высота** над уровнем моря;
- Показатели **крутизны, ориентации** (2) и **кривизны** (6) склона, **шероховатости** поверхности (4), индексы **относительного положения** (6), **формы рельефа** (7).

БПЛА-аэро съемка:

Результаты ВЛС – облако точек (трехмерные координаты возвратов сигнала лазера):

- **ЦМР** и производные показатели аналогично Copernicus DEM;
- **Нормализованное облако точек** – два набора одинаковых метрик – для всех и только для первых возвратов:
 - **модель высот полого** и показатели **шероховатости** (аналогично ЦМР);
 - **перцентили** распределения значений **высот** (21) и показатели **разброса** между ними (10);
 - **доли возвратов выше** различных **порогов высоты** (с шагом в 2 м);
 - **доли возвратов** в различных **диапазонах высот** (с шагом в 2 м);
 - **прозрачность слоев высот** (с шагом в 2 м);
 - **энтропия** распределения значений **высот**.

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

| Моделируемые показатели | Наборы переменных | Методы автоматического машинного обучения |
|---|--|--|
| <p>Регрессия:</p> <ul style="list-style-type: none">• Запас ствольной древесины, м³/га;• Древесная фитомасса, т/га;• Возраст древостоя, лет;• Доля хвойных пород в запасе, %;• Мощность органогенного горизонта почвы, см. <p>Классификация:</p> <ul style="list-style-type: none">• Преобладающая порода древостоя;• Тип (группа) напочвенного покрова;• Тип (группа) почв. | <ul style="list-style-type: none">• Base = XYZ• Opt = S2 + XYZ• Sat = S1 + S2 + CopDEM + XY• Las = LAS + XY• Combo = S2 + LAS + XY • NoVars – статистическая оценка без использования переменных (среднее по выборке для регрессии, наиболее представленный в выборке класс для классификации). | <p>Базовые модели:</p> <ul style="list-style-type: none">• RF – случайные леса;• GBM – градиентный бустинг;• SVM – метод опорных векторов;• GLM (регрессия), liblinear (классификация) – генерализованные линейные модели;• KNN – метод k ближайших соседей. <p>Комбинированные модели:</p> <ul style="list-style-type: none">• AVG – ансамбль из базовых моделей (осреднение предсказаний);• SM – супер-модель (линейная регрессия или дерево решений) на основе предсказаний базовых моделей. |

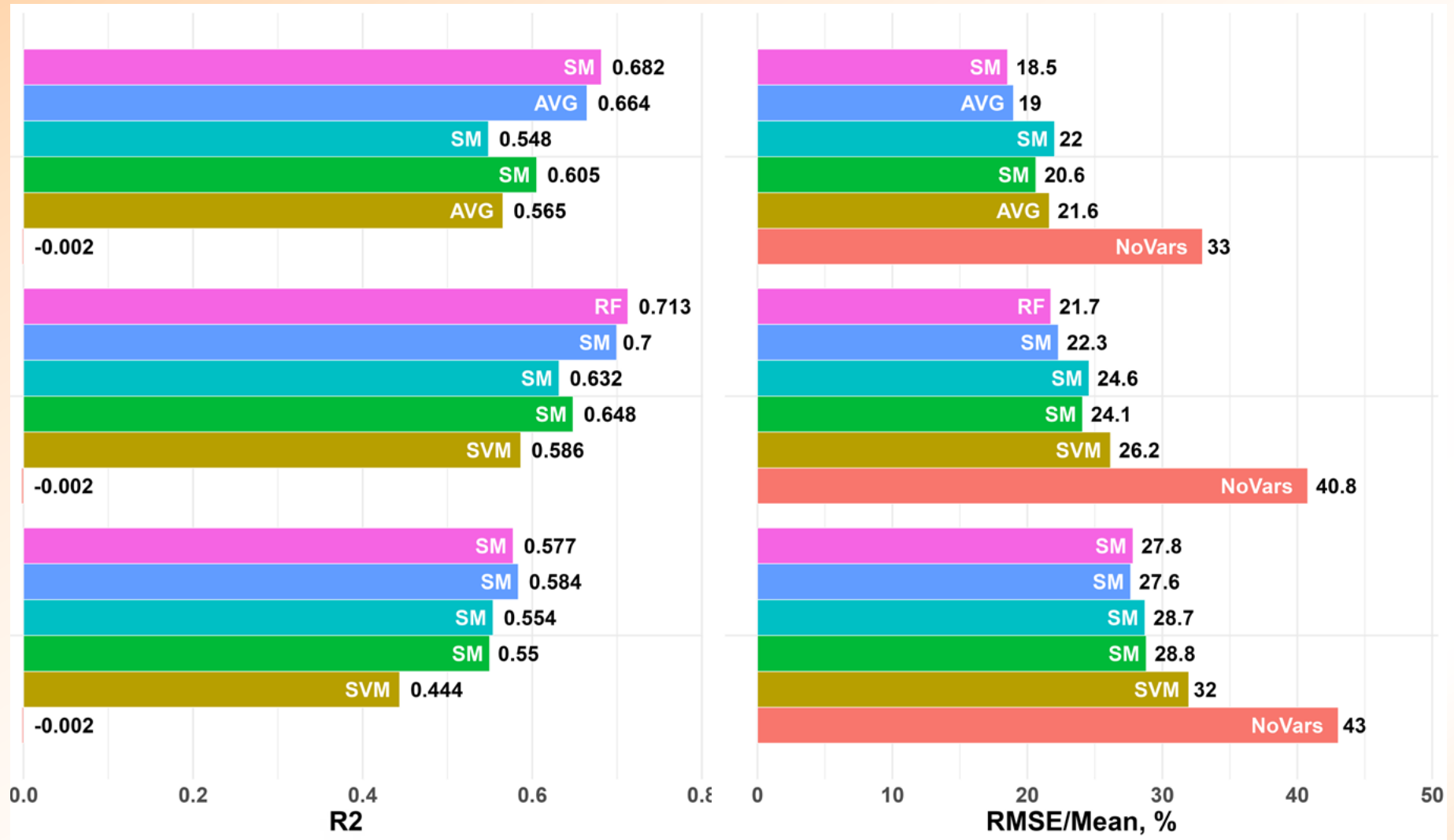
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Запас стволовой древесины

Шарангский ТП

Кивачский ТП

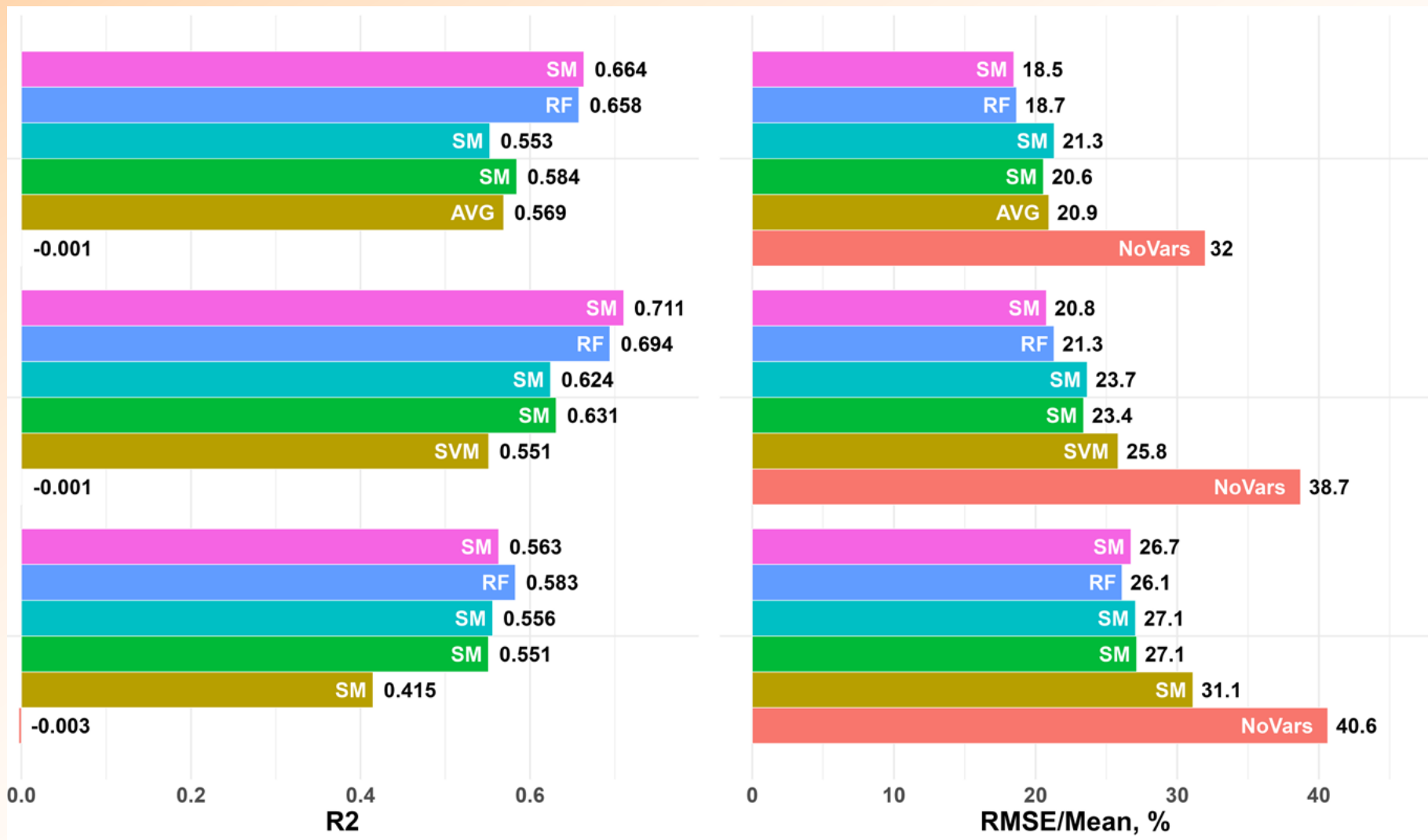
Ляльский ТП



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Древесная фитомасса

Шарангский ТП



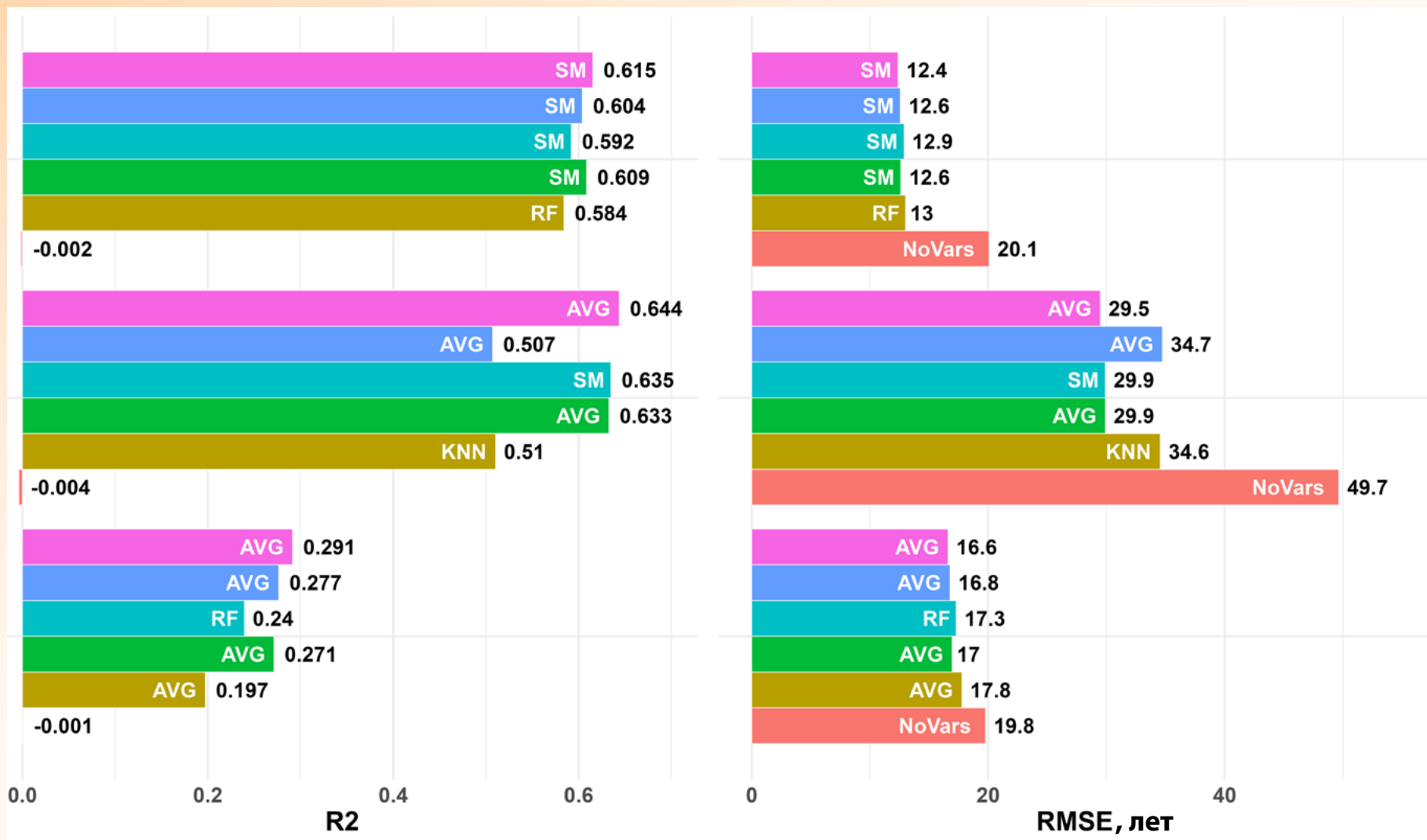
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Возраст древостоев

Шарангский ТП

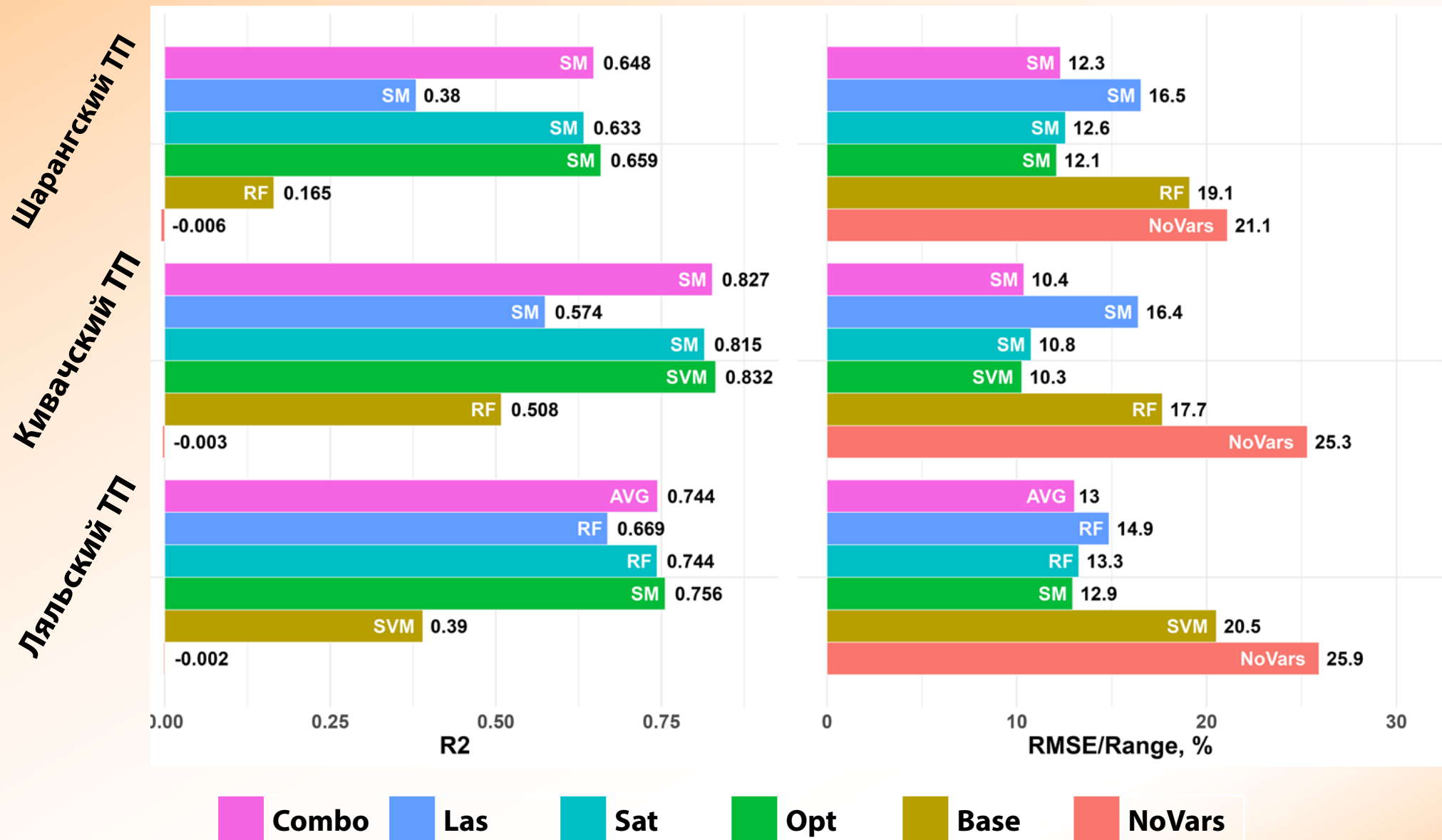
Кивачский ТП

Ляльский ТП



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Доля хвойных пород в запасе



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Преобладающая порода древостоев

Шарангский ТП

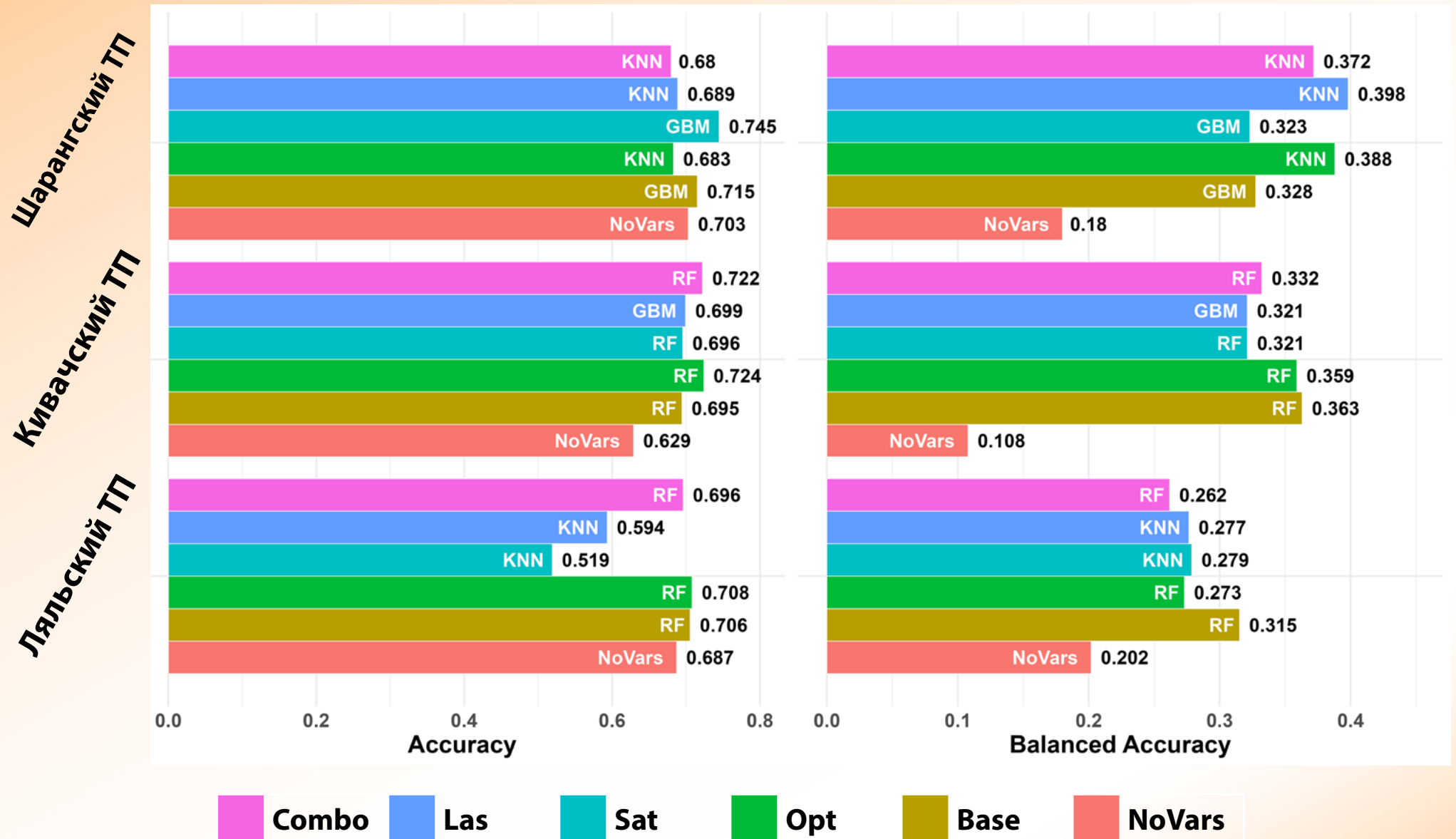
Кивачский ТП

Ляльский ТП



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Тип (группа) напочвенного покрова



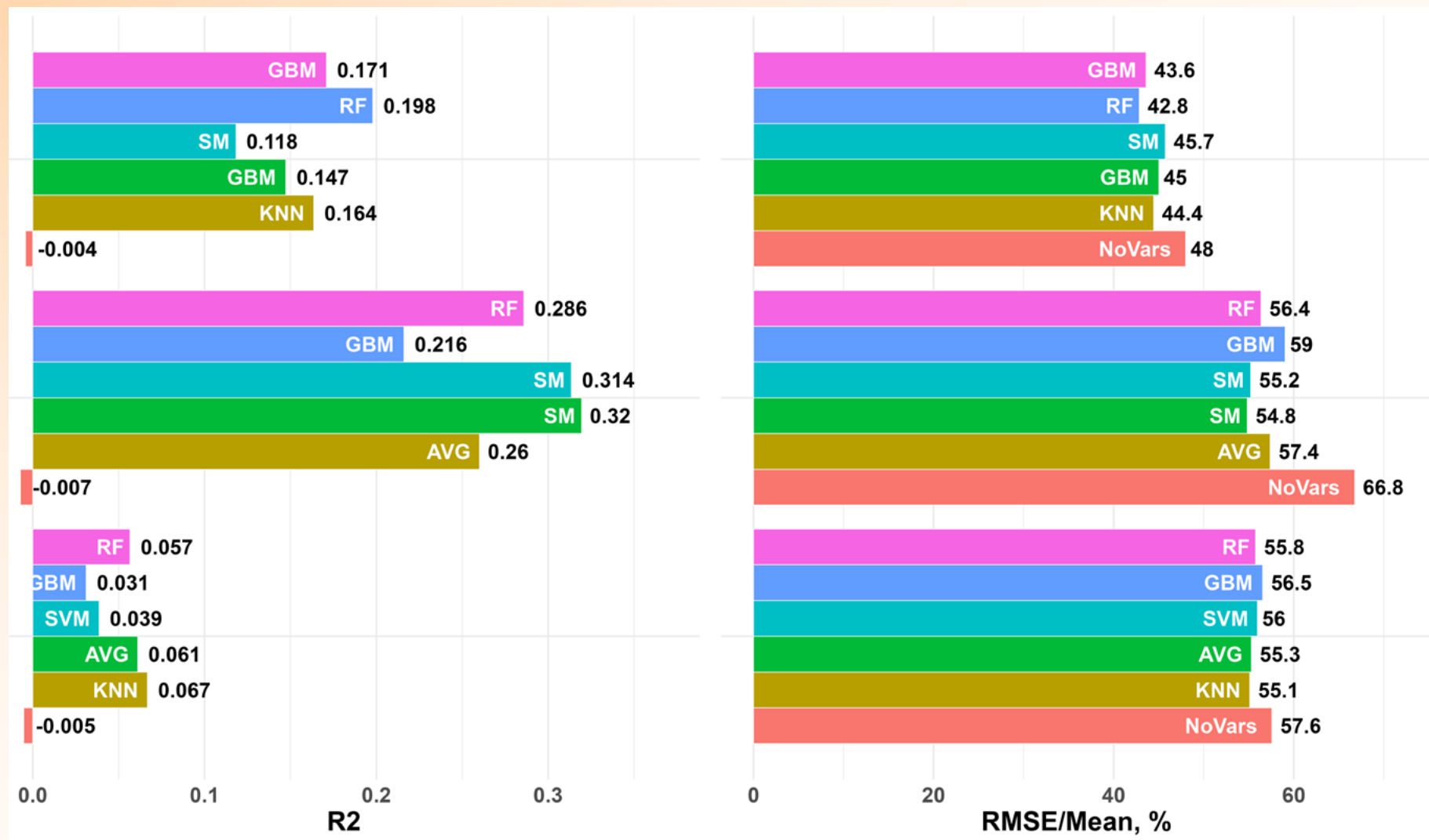
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Мощность органогенного горизонта почвы

Шарангский ТП

Кивачский ТП

Ляльский ТП



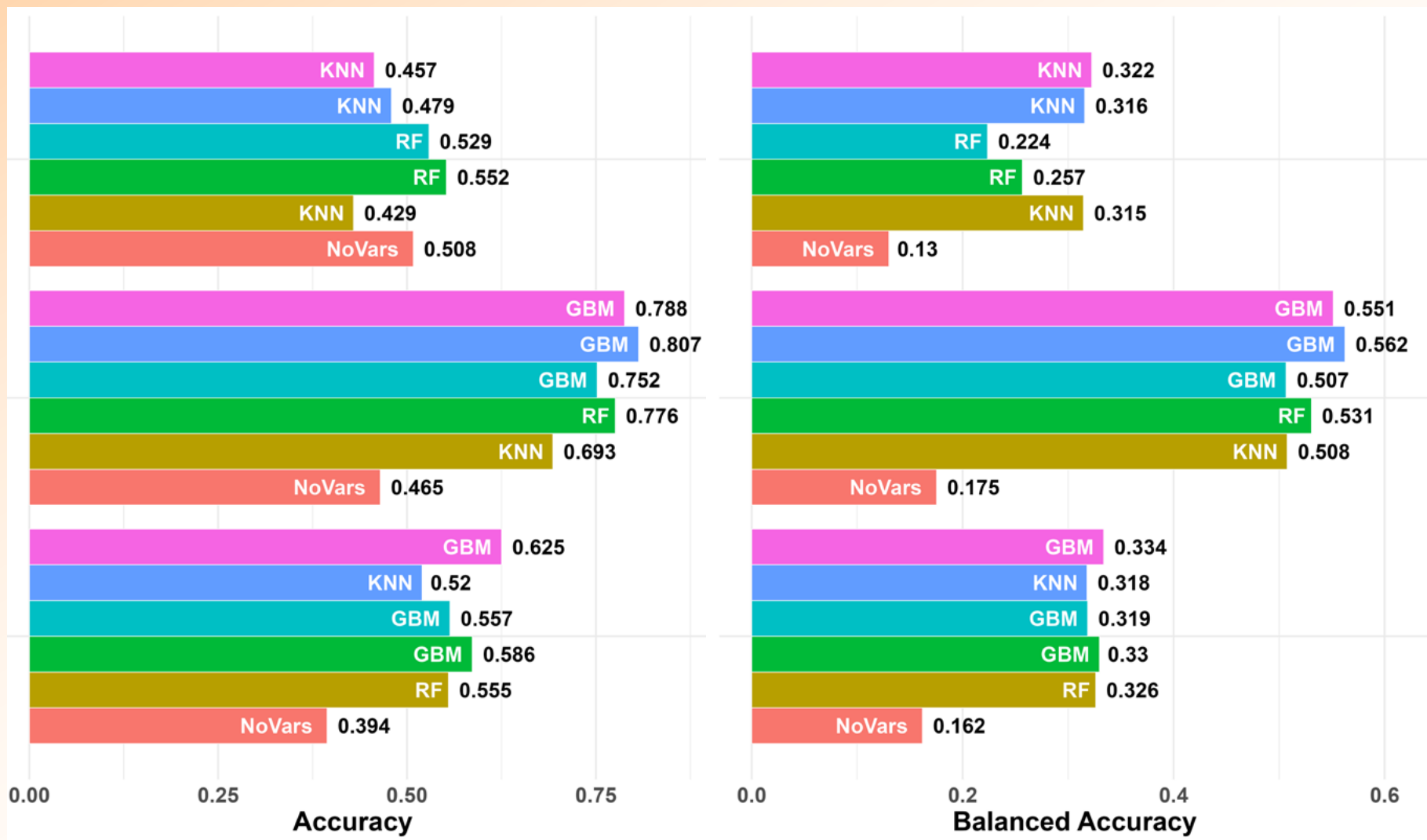
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛЕЙ

Тип (группа) почв

Шарангский ТП

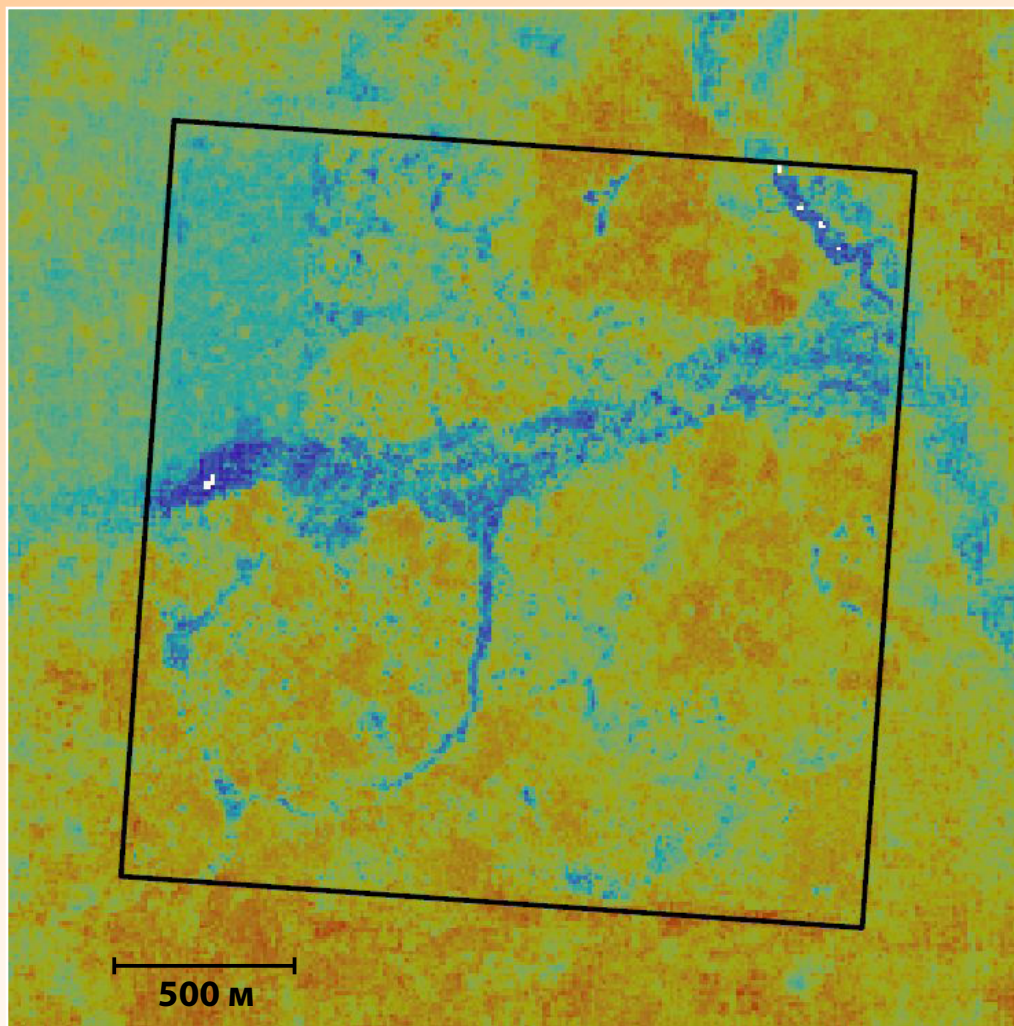
Кивачский ТП


Ляльский ТП

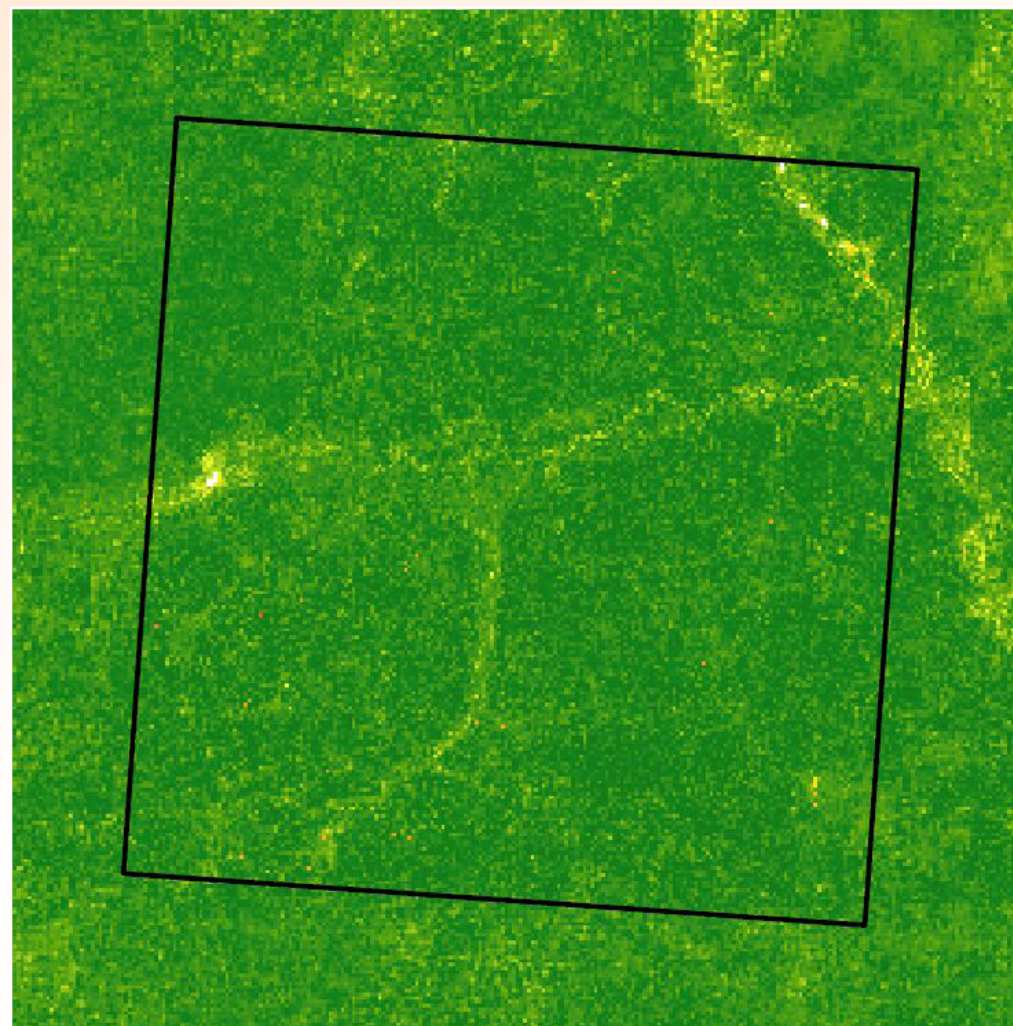


ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шарангский ТП – древесная фитомасса



0  440
Древесная фитомасса, т/га



2  55
Стандартная ошибка модели, т/га

ОЦЕНКИ СУММАРНОЙ ДРЕВЕСНОЙ ФИТОМАССЫ

| Тестовый полигон | Расчет статистики | Число РПП (n) / Площадь (S), га | Древесная фитомасса полигона, т/га | | | Стандартная ошибка, т/га | | Стандартная ошибка, % | |
|------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------|-----------------|--------------------------|---------------|-----------------------|------------|
| | | | Mean | SD | Sum | Mean | Sum | Mean | Sum |
| Шарангский | По РПП | n = 397 | 255,8 | 84,6 | 103772,1 | 4,2 | 1684,9 | 1,7 | 1,6 |
| | По модели | S = 405,8 | 249,2 | 69,0 | 101106,7 | 7,4 | 3013,0 | 3,0 | 3,0 |
| | Разница, % | – | -2,6 | -18,4 | -2,6 | 75,0 | 78,8 | 1,3 | 1,4 |
| Кивачский | По РПП | n = 308 | 194,1 | 99,9 | 79254,9 | 5,7 | 1754,0 | 2,9 | 2,2 |
| | По модели | S = 408,4 | 190,1 | 63,8 | 77629,7 | 6,6 | 2690,0 | 3,5 | 3,5 |
| | Разница, % | – | -2,1 | -36,1 | -2,1 | 15,7 | 53,4 | 0,6 | 1,3 |
| Ляльский | По РПП | n = 347 | 132,8 | 62,3 | 52837,1 | 3,3 | 1160,1 | 2,5 | 2,2 |
| | По модели | S = 398,0 | 131,8 | 44,7 | 52469,0 | 5,6 | 2232,1 | 4,3 | 4,3 |
| | Разница, % | – | -0,7 | -28,2 | -0,7 | 67,7 | 92,4 | 1,8 | 2,1 |

ВЫВОДЫ

- **Локальные особенности ТП** оказывают значительное влияние как на выбор оптимальной **конфигурации входных данных ДЗЗ** для моделирования различных характеристик лесных экосистем, так и на **эффективность получаемых моделей**;
- Использование **лидарных данных** в качестве геопространственных переменных, в целом, **положительно сказывается** на эффективности моделей для показателей **запаса** стволовой древесины и **древесной фитомассы**;
- Использование радарных данных **Sentinel-1** не давало **заметного положительного эффекта** при моделировании рассмотренных характеристик;
- Несмотря на **умеренную эффективность** полученных моделей **древесной фитомассы**, как минимум, в границах **ТП** они позволяют получать достаточно **точную геопространственную репрезентацию** исходных полевых измерений.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Гаврилюк Е.А.

**Центр по проблемам экологии и
продуктивности лесов РАН**

г. Москва, Россия

e-mail: **egor@ifi.rssi.ru**

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 учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Москва, ИКИ РАН, 15 ноября 2023 года