

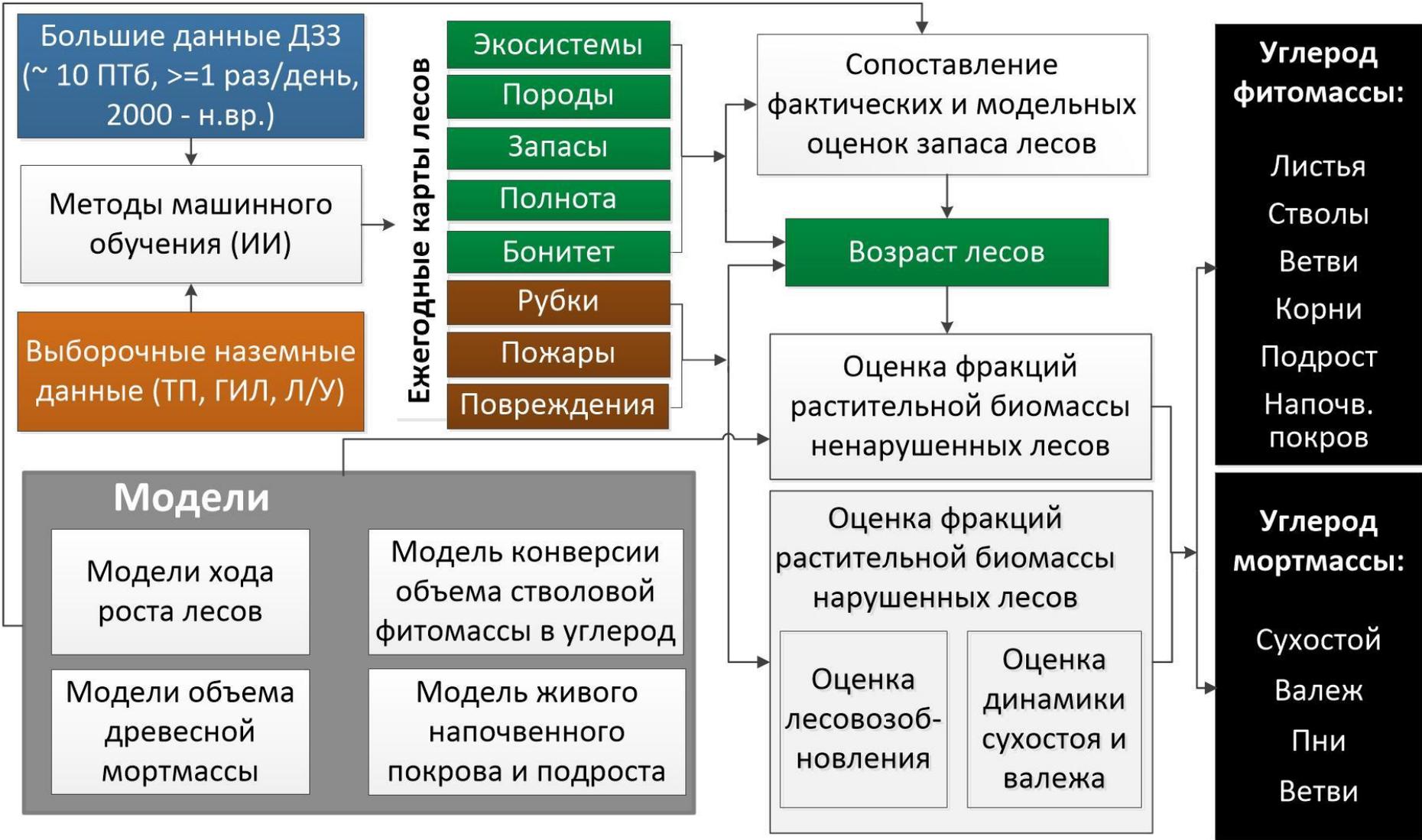


Основные результаты и перспективы развития методических и технологических возможностей спутникового мониторинга бюджета углерода лесов

**Барталев С.А., Лупян Е.А., Хвостиков С.А., Егоров В.А., Жарко В.О.,
Стыценко Ф.В., Стыценко Е.А., Ховратович Т.С.**

Конференция «Углерод в наземных экосистемах: мониторинг». Реализация ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ – 2023», ЦЭПЛ РАН, 13-15 февраля 2024

Концептуальная схема дистанционной оценки бюджета углерода лесов

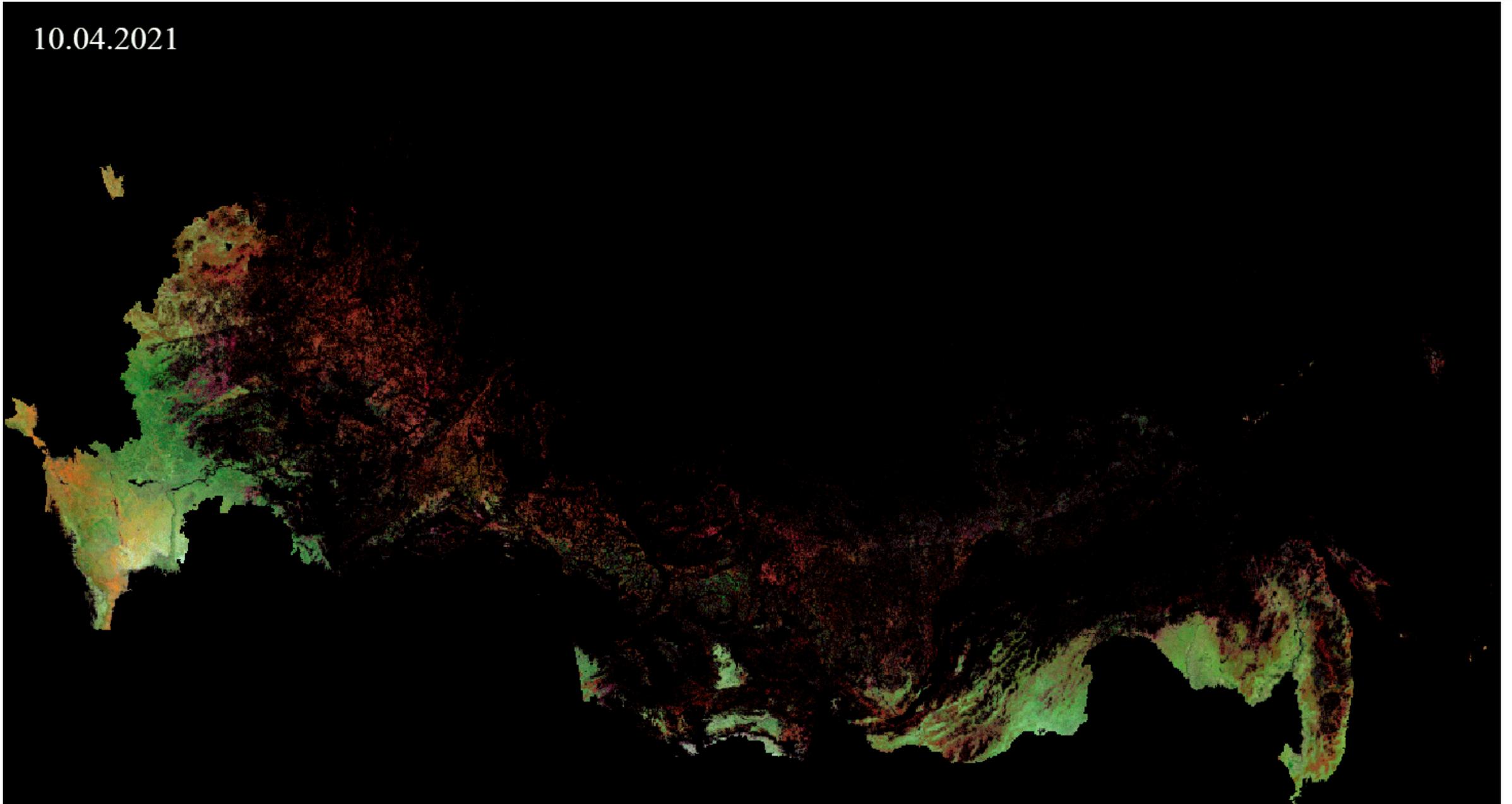


Характеристики лесов

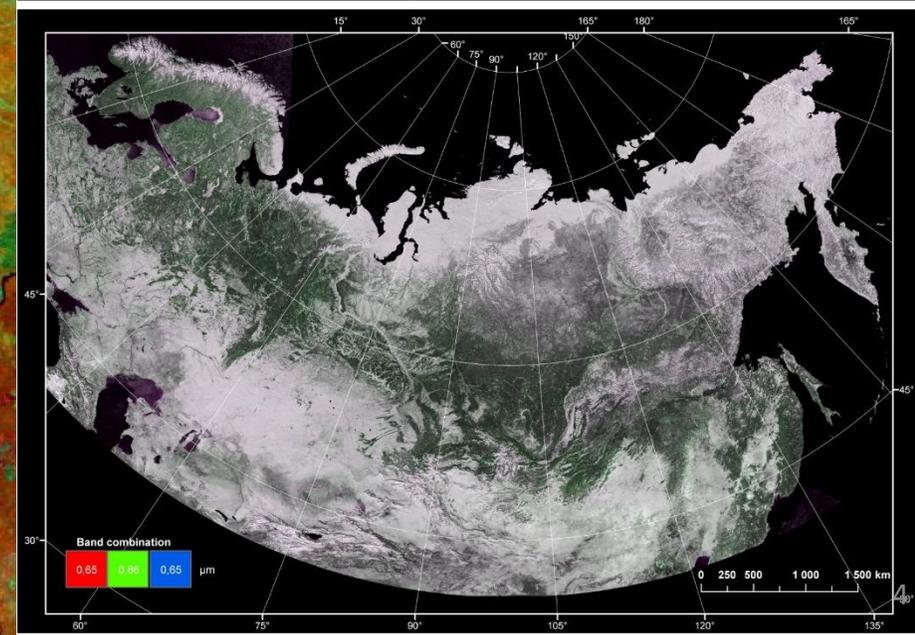
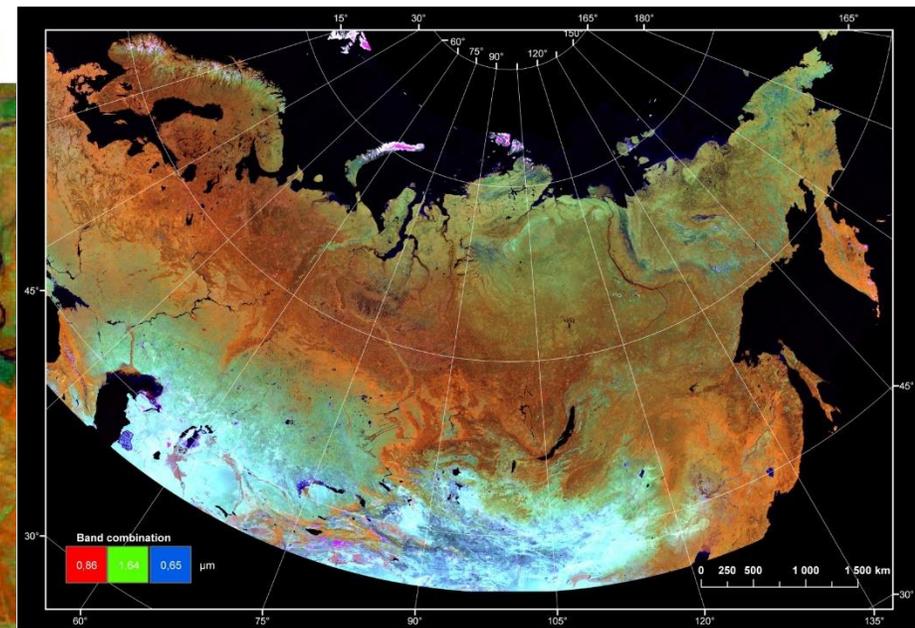
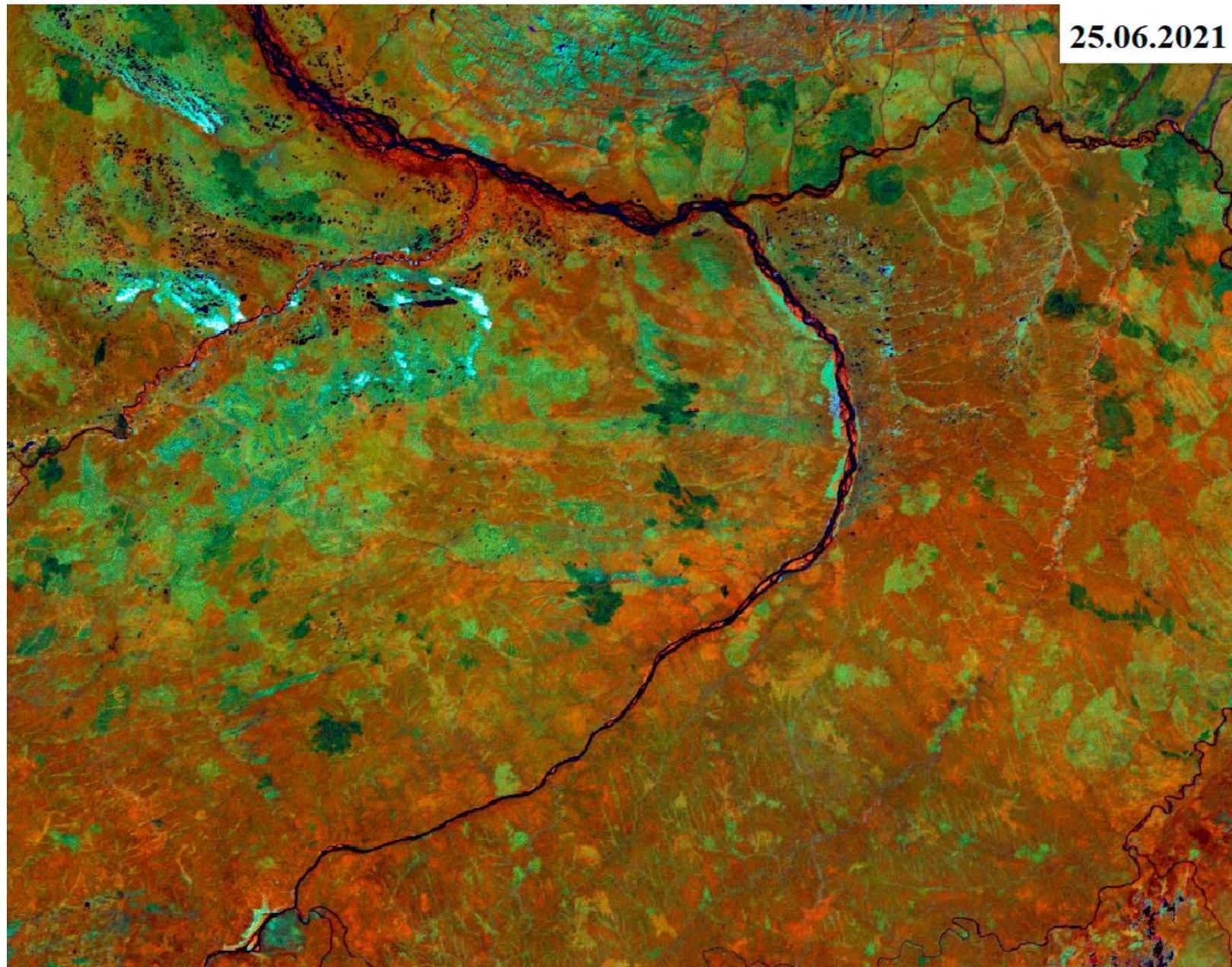
Факторы нарушенности лесов

Непрерывные ряды ежедневных данных ДЗЗ для оценки характеристик и динамики лесов России

10.04.2021



Непрерывные ряды ежедневных данных ДЗЗ для оценки характеристик и динамики лесов России



Выборочные наземные данные для обучения алгоритмов и верификации результатов дистанционной оценки характеристик лесов

1. Сеть ТП (РИТМ-Углерода, ВИП ГЗ)

- ТП экстенсивного уровня, 96 200 ПП (962 ТП x 100 ПП)
- ТП интенсивного уровня, 11 600 ПП (29 ТП x 400 ПП)

2. Сеть ПП биогеоценозов (РИТМ-Углерода, ВИП ГЗ)

1 185 ПП

3. ПП Государственной инвентаризации лесов (ГИЛ)

~ 50 000 ПП (результаты 1-го цикла ГИЛ)

4. Актуализированная цифровая основа (АЦО) ГИЛ:

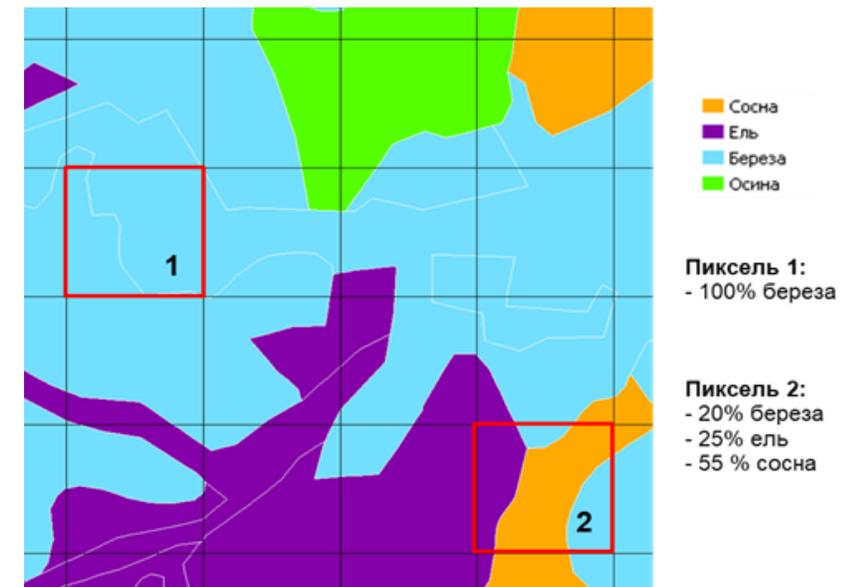
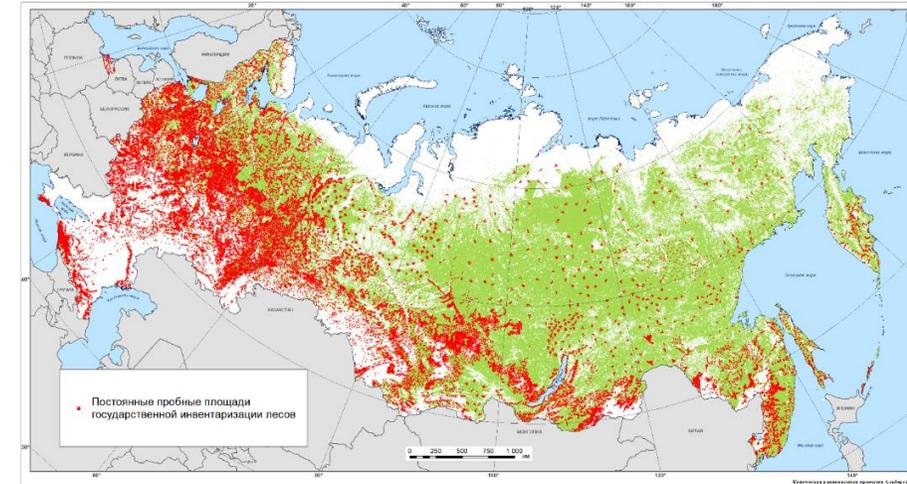
- данные о характеристиках более 10 млн. лесных выделов по материалам лесоустройства

5. ПП лесопатологического мониторинга

~ 50 000 ПП

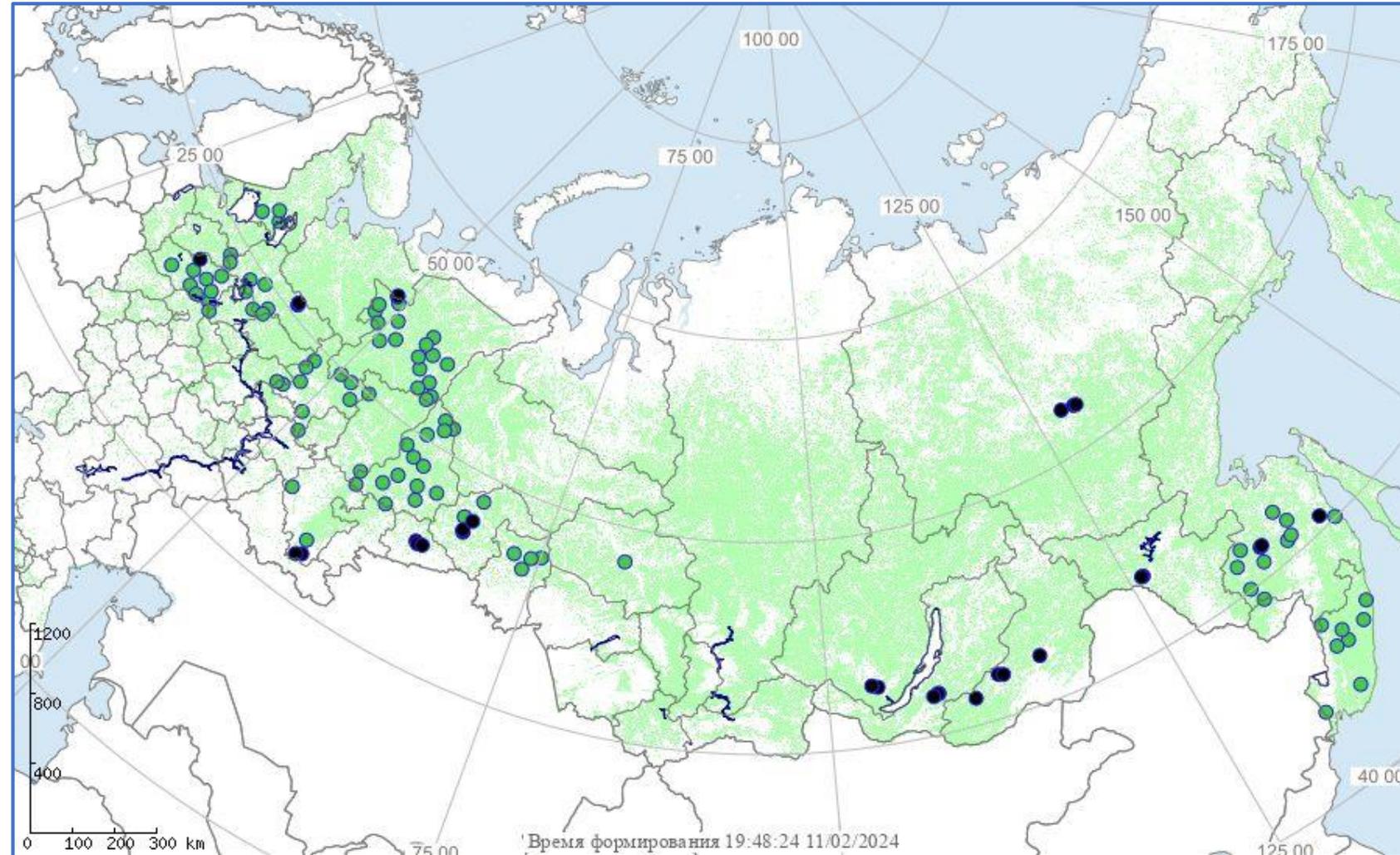
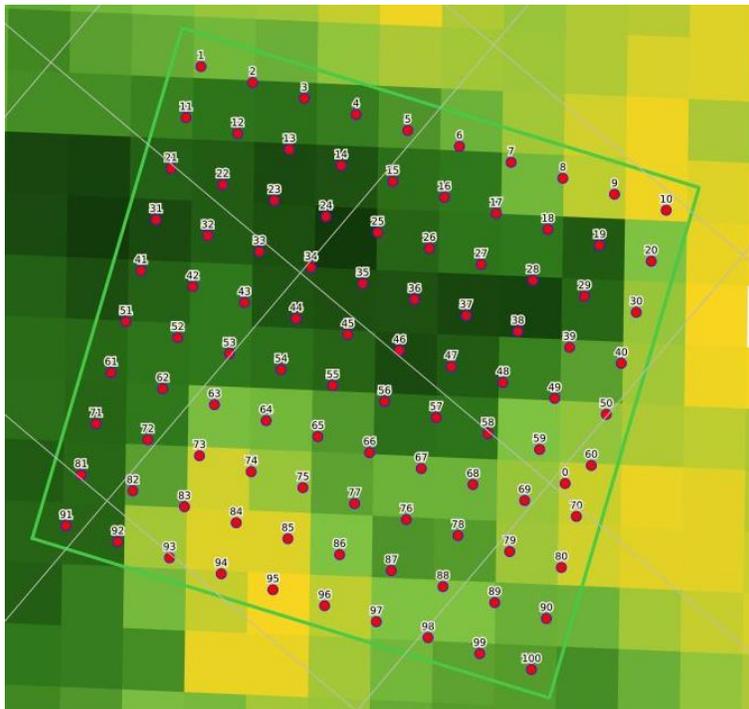
6. ESA World Cover, 10 m (Верифицированная карта земного покрова, Европейское космическое агентство, пространственное разрешение 10 м, 2020 год)

ТП - тестовые полигоны; ПП – пробные площади



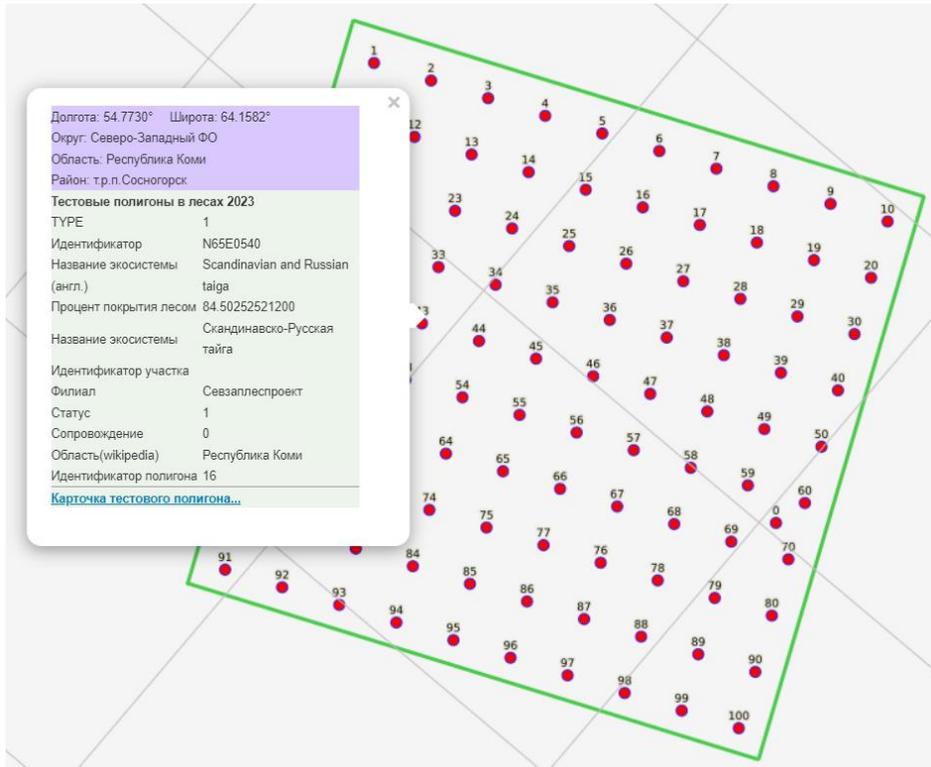
Сеть тестовых полигонов экстенсивного уровня в лесных экосистемах, обследованных в 2023 году

Всего в 2023 году ФГБУ «Рослесинфорг» заложил 120ТП, в том числе 30ТП (точки черного цвета на карте) в нарушенных пожарами лесах.



На территории каждого полигона размером 2x2 км заложена регулярная сеть реласкопических пробных площадей с шагом 100 м, а также пробная площадь в месте закладки ППП ГИЛ.

Сеть тестовых полигонов экстенсивного уровня в лесных экосистемах, обследованных в 2023 году



Форма КПП-1
прототип

Круговая площадка № 43 (Тестовый полигон № 16)

| Общая характеристика круговой площадки | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|---|---------------------------------------|------------------|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Дата закладки | Филиал ФГБУ «Рослесинфорг» | Номер круговой площадки в пределах тестового полигона | Тип круговой площадки | Категория земель | Широта | Долгота | Номер тестового полигона | ФИО ответственного исполнителя | Должность ответственного исполнителя |
| 2023-10-03 | Севзаплеспроект | 43 | 1 (круговая реласкопическая площадка) | Лесная площадь | 64.158032 | 54.773210 | 16 | Железков А. А. Егоров С. Ю. | Инженер-таксатор |

| Перечётная ведомость деревьев круговой площадки | | | | | | | |
|---|--------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--|--|
| Номер дерева по порядку | Элемент леса | Древесная порода | Сумма площадей сечений на 1 га, м2 | Диаметр на высоте груди, см | Степень толщины, см | Площадь сечения ствола на высоте груди, м2 | Категория санитарного состояния дерева |
| 1 | 1 | ЕЛЬ сибирская | 1 | 13.5 | 14.0 | 0.0154 | 3 (Сильно ослабленное) |

| Модельные (учётные) деревья | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--|--|
| Номер дерева по порядку | Элемент леса | Древесная порода | Возраст модельного дерева, лет | Высота модельного дерева, м | Высота начала живой кроны, м | Протяжённость живой кроны, м | Средний диаметр кроны, м | Сумма площадей сечений на 1 га, м2 | Диаметр на высоте груди, см | Степень толщины, см | Площадь сечения ствола на высоте груди, м2 | Категория санитарного состояния дерева |
| 1 | 1 | ЕЛЬ сибирская | 140.0 | 8.0 | 3.5 | 4.5 | 0.9 | 1 | 13.5 | 14.0 | 0.0154 | 3 (Сильно ослабленное) |

| Характеристика древостоя... | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------|
| Элемент леса | Древесная порода | Число стволов на 1 га, шт. | Возраст, лет | Диаметр на высоте груди, см | Сумма площадей сечений на 1 га, м2 | Высота элемента леса, м | Запас элемента леса на 1 га, м3 | Коэффициент состава элемента леса | Площадь круговой площадки, га | Происхождение древостоя(тип) | Происхождение древостоя(class) | Тип леса |

Фотоматериалы



2023:10:03 14:02:48

Направление: не указано



2023:10:03 14:02:59

Направление: восток



2023:10:03 14:02:54

Направление: север



2023:10:03 14:03:04

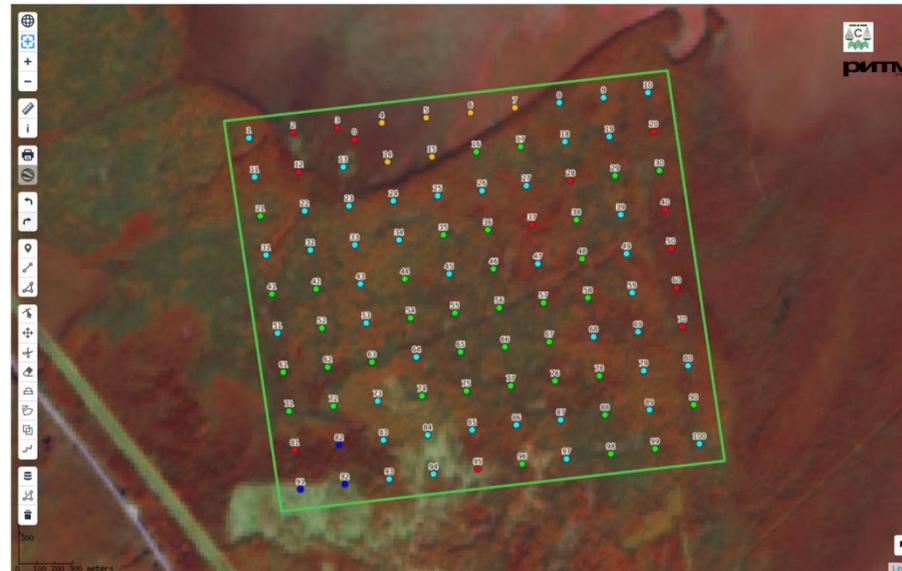
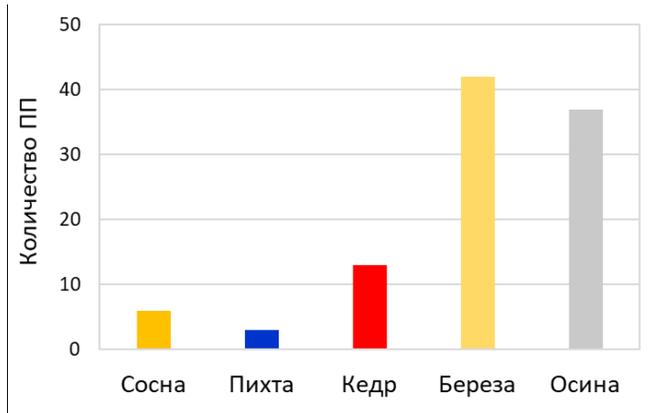
Направление: юг



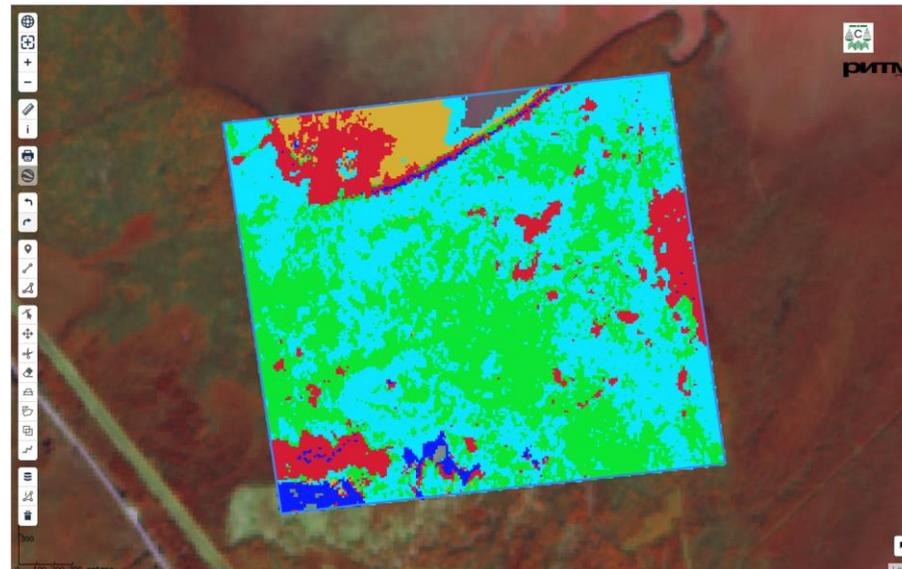
2023:10:03 14:03:07

Направление: запад

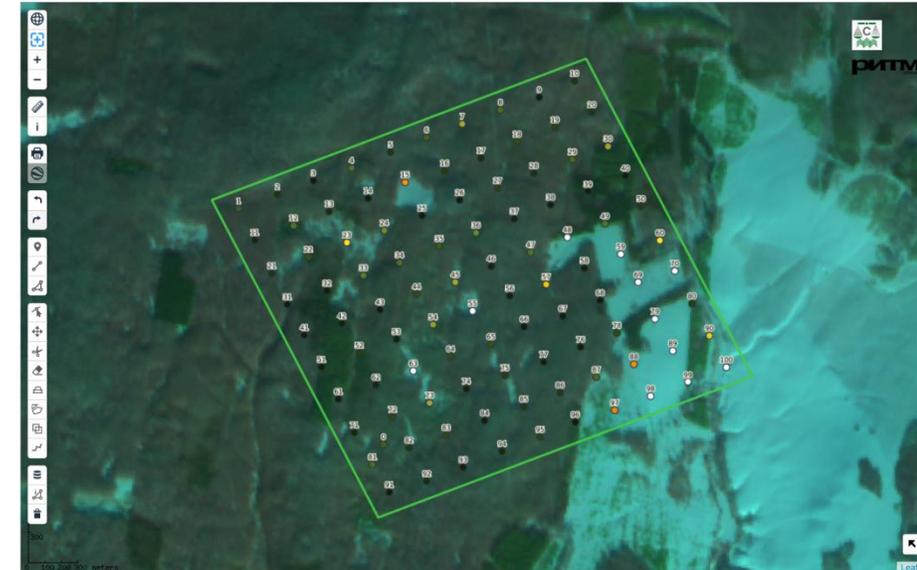
Оценка характеристик лесов тестовых полигонов по данным ДЗЗ



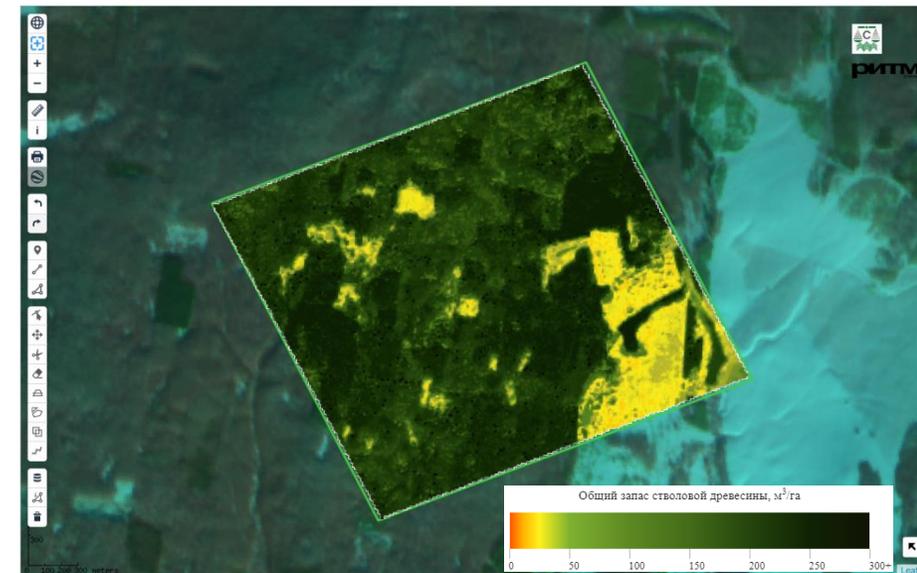
ПП на ТП117 (Sentinel-2, 23.05.23; R: NIR, G: SWIR, B: red)



Точность распознавания на уровне ПП 90%



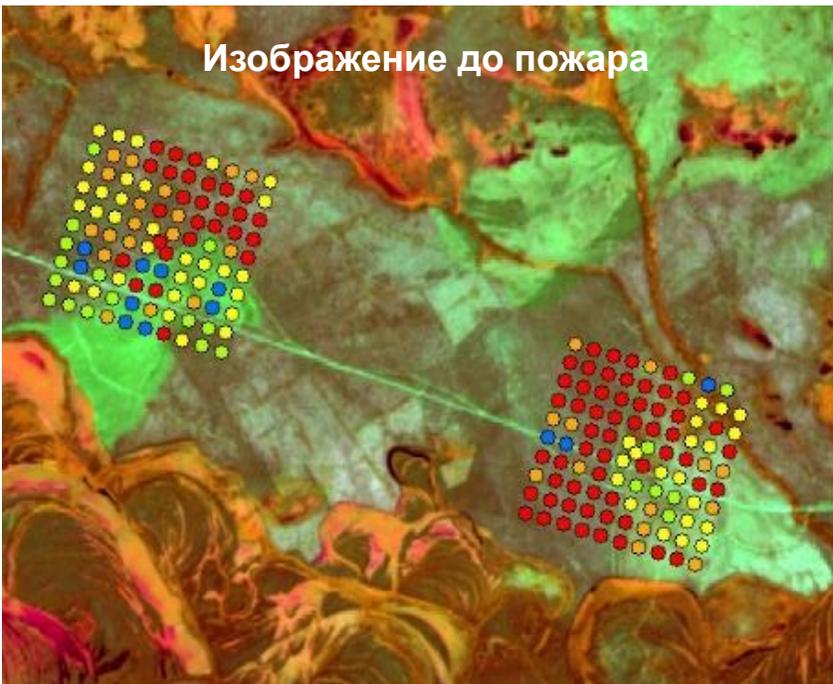
ПП на ТП86 (Sentinel-2, 19.02.23; R: SWIR, G: NIR, B: red)



На уровне ПП RMSE ~ 50 м³/га

Оценка повреждений лесов тестовых полигонов по данным ДЗЗ

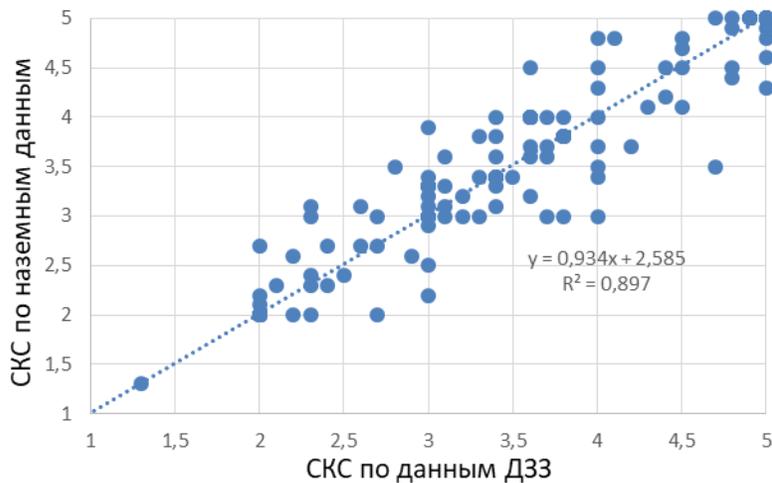
Изображение до пожара



Изображение после пожара в год проведения обследования

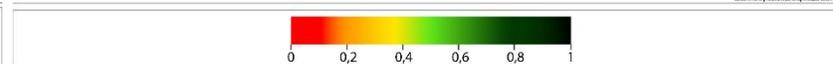
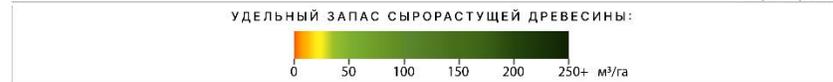
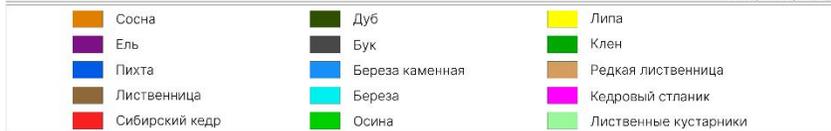


Результат оценки состояния лесов

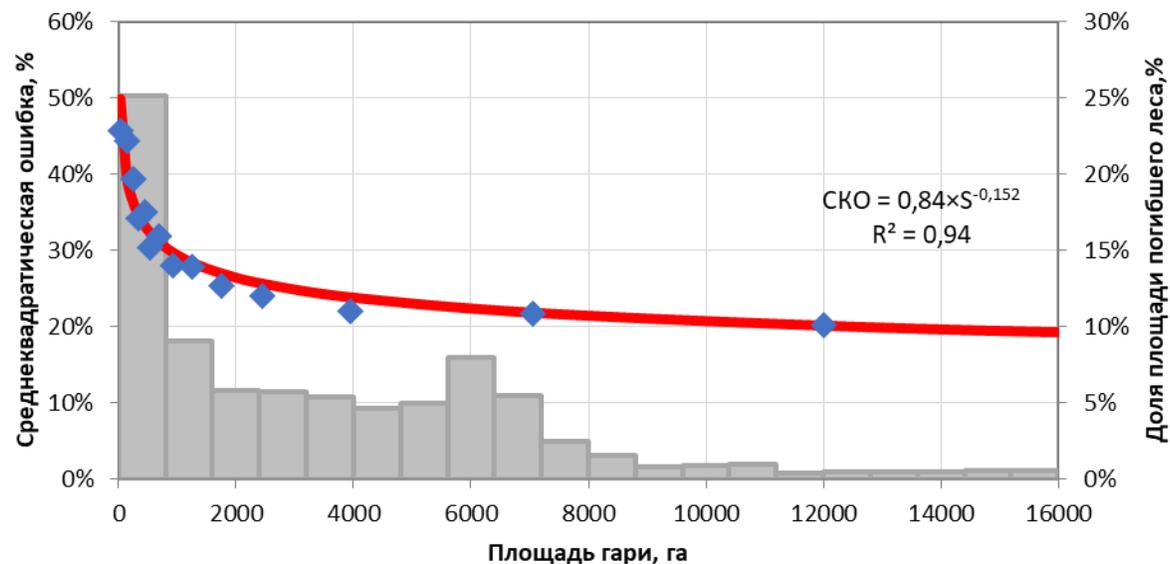
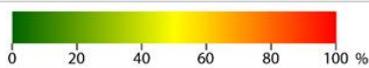


-  Нет леса
-  Слабо повреждённые и ослабленные
-  Сильно ослабленные
-  Усыхающие
-  Погибшие

Возможности получения данных о лесах на основе ДЗЗ для Национального кадастра парниковых газов



Оценка площади погибших от пожаров лесов по данным ДЗЗ



Верификация результатов ДЗЗ проведена на основе 10881 «опорных» гарей общей площадью 8.2 млн га, отобранных по данным лесоустройства. Величина погрешности ежегодной интегральной оценки по данным ДЗЗ площади погибших от пожаров лесов в масштабах страны варьирует в диапазоне 11-23% в зависимости от количества и размеров гарей.

Предварительная верификация результатов оценки характеристик лесов на основе ДЗЗ для Национального кадастра парниковых газов

| Верифицируемые характеристики | Источники опорных данных | Объем опорной выборки | Метод оценивания погрешности | Величина погрешности (неопределенности) |
|-------------------------------------|---|---|---|---|
| Занятая лесом площадь, % лесистости | ESA World Cover, 10 м АЦО ГИЛ ТП | Кол-во пикселей: Обучение: 10 млн. Верификация: >100 млн. | Скользкий контроль Распределение отклонений лесистости | R2=0,84 (кустарники) R2=0,96 (древесная раст-сть) RMSE =9,8% (пиксел) |
| Запас древесины | ПП ГИЛ + АЦО ГИЛ ТП | Кол-во пикселей: ~ 70 млн. | Скользкий контроль | R2= 0,85 RMSE=20% (пиксел) RMSE=4,2% (страна) |
| Преобладающие породы | АЦО ГИЛ + ПП ГИЛ ТП | Кол-во пикселей: ~ 40 млн. | Матрица ошибок | Вероятность ошибочной классификации - 15 % (пиксел) |
| Возраст лесов | АЦО ГИЛ ТП | Кол-во пикселей: Обучение: 25 млн Верификация: 3 млн | Оценка параметров распределения отклонений | R2=0,74 MAE=23 года |
| Класс бонитета | АЦО ГИЛ ТП | Кол-во пикселей: Обучение: 25 млн Верификация: 3 млн | Оценка параметров распределения отклонений | R2=0,87 RMSE=0,5 класса бонитета MAE=0,3 класса бонитета |
| Площадь гибели лесов от пожаров | АЦО ГИЛ, ПП «Рослесозащита» ТП | 10881 контуров гарей площадью 8,2 млн. га | Распределение отклонений площади гарей | RMSE=11-23% (в масштабах страны) |
| Запас углерода в лесах | Характеристики лесов, используемых для оценки запасов и нетто-поглощения углерода, и погрешности их определения | | Моделирование методом Монте-Карло | RMSE = +/-4,2% (страна) |
| Нетто-поглощение углерода лесами | | | | RMSE = +/-7,9% (страна) |

ТП - тестовые полигоны, ПП – пробные площади,

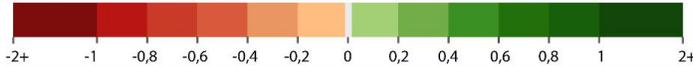
АЦО – актуализированная цифровая основа, ГИЛ – государственная инвентаризация лесов,

RMSE – среднеквадратическая ошибка, MAE – средняя абсолютная ошибка, MRE – средняя относительная ошибка

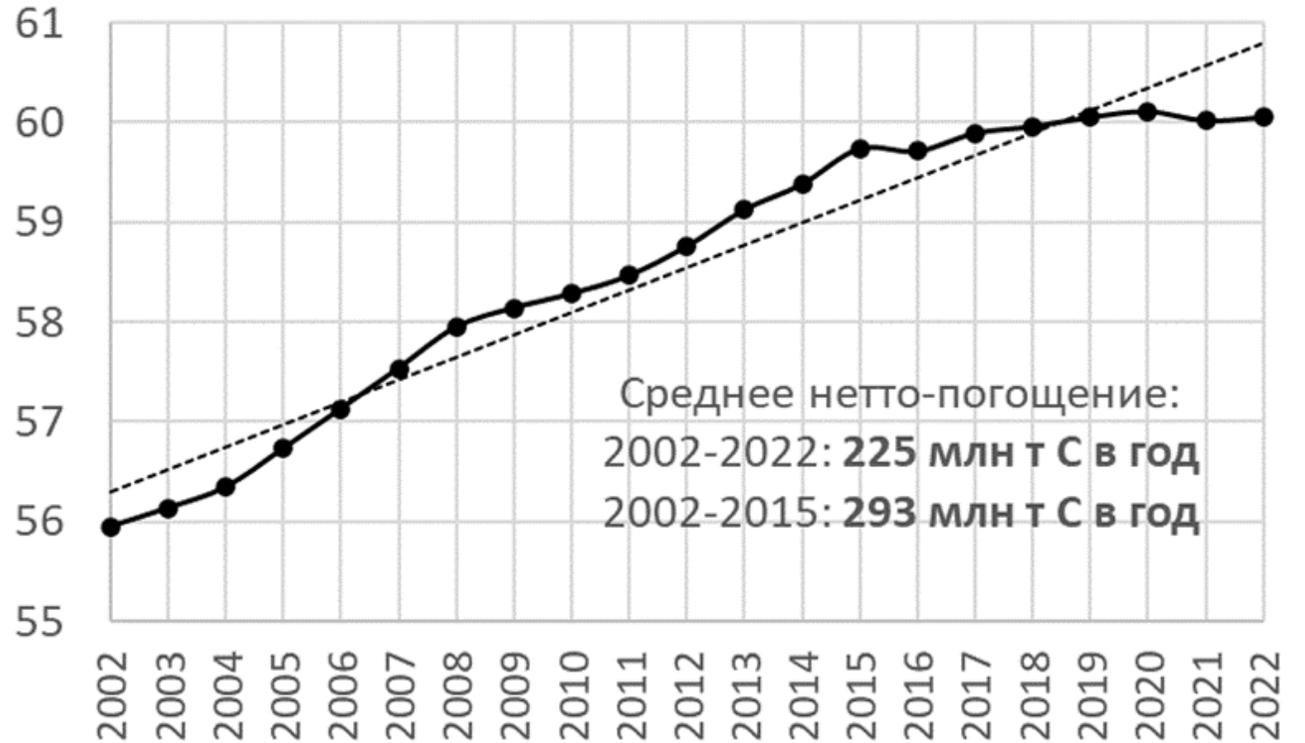
Запасы углерода в общей растительной биомассе лесов и редколесий на всей территории России и их изменения в период 2002-2022 годов



СРЕДНЕГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА, т С га⁻¹ Год⁻¹:

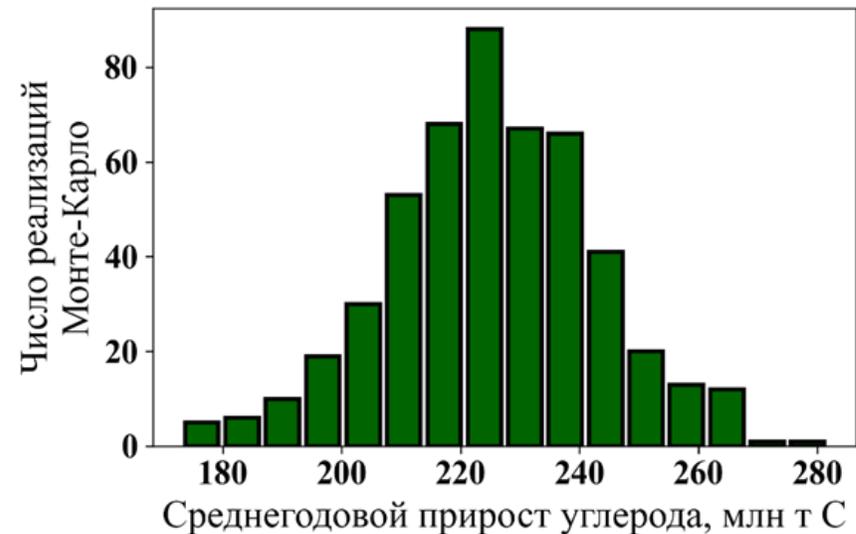
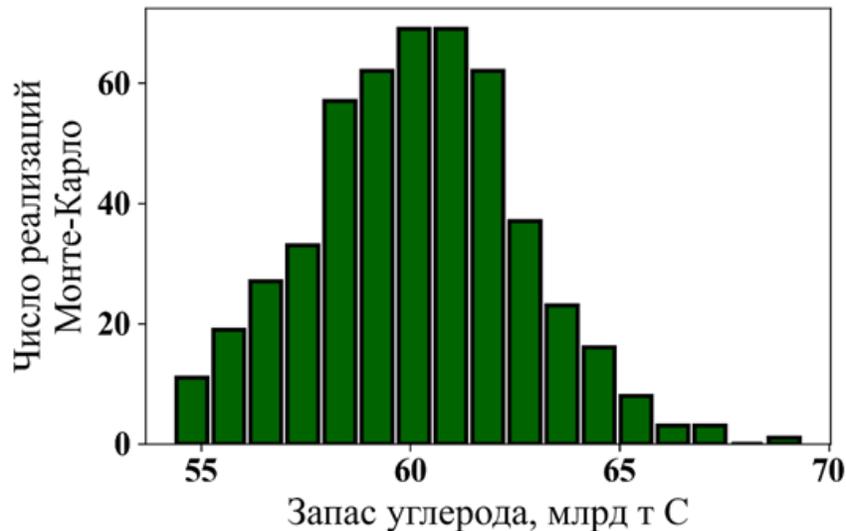


$\times 10^9$ т С

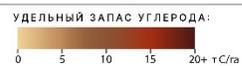
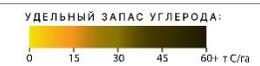


Оценка уровня неопределенности суммарного запаса углерода в растительной биомассе лесов России и его баланса

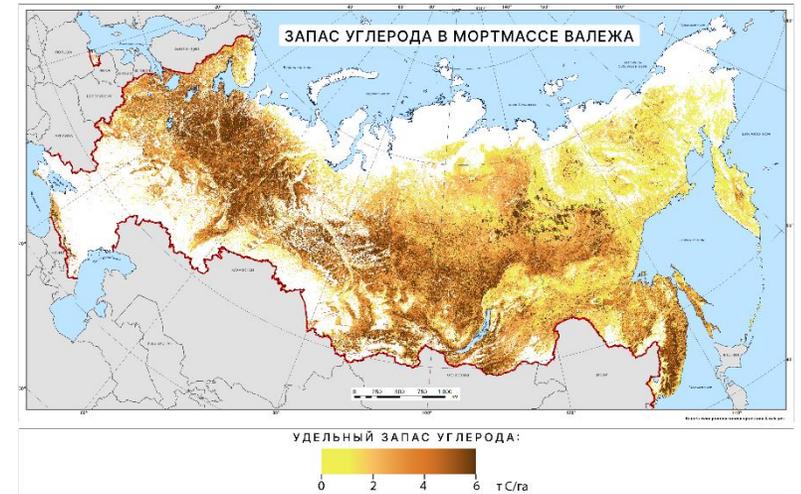
| | Запас углерода, млрд. т С | Баланс углерода, млн. т С в год |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Среднеквадратическое отклонение | 2,52 | 17,8 |
| Относительное отклонение | 4,2% | 7,9% |
| Доверительный интервал 95% | 55,4 - 65,1 | 188,5 – 261,8 |



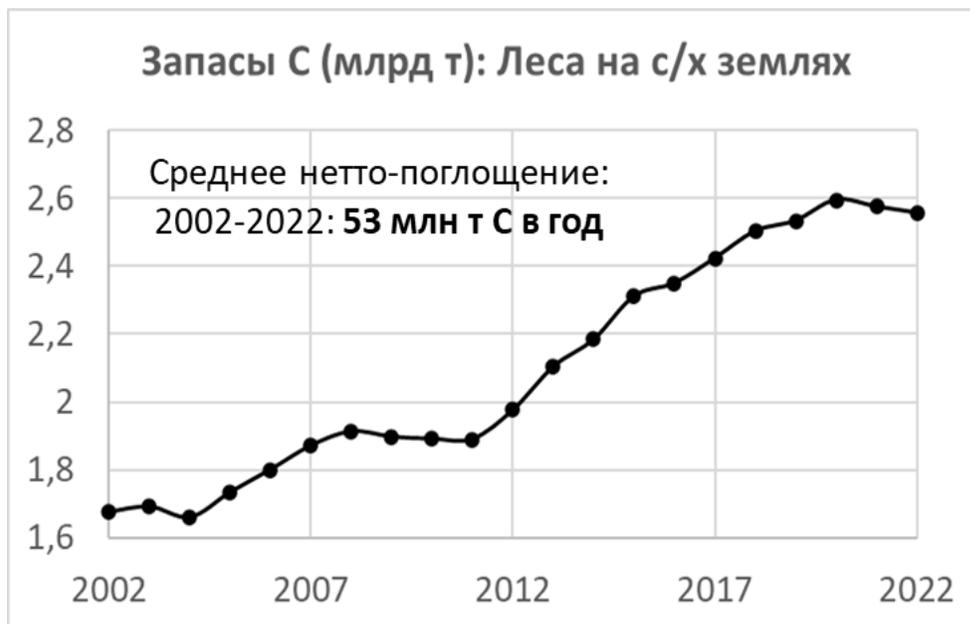
Запасы углерода в фитомассе лесов России, 2022 год



Запасы углерода в мортмассе лесов России, 2022 год



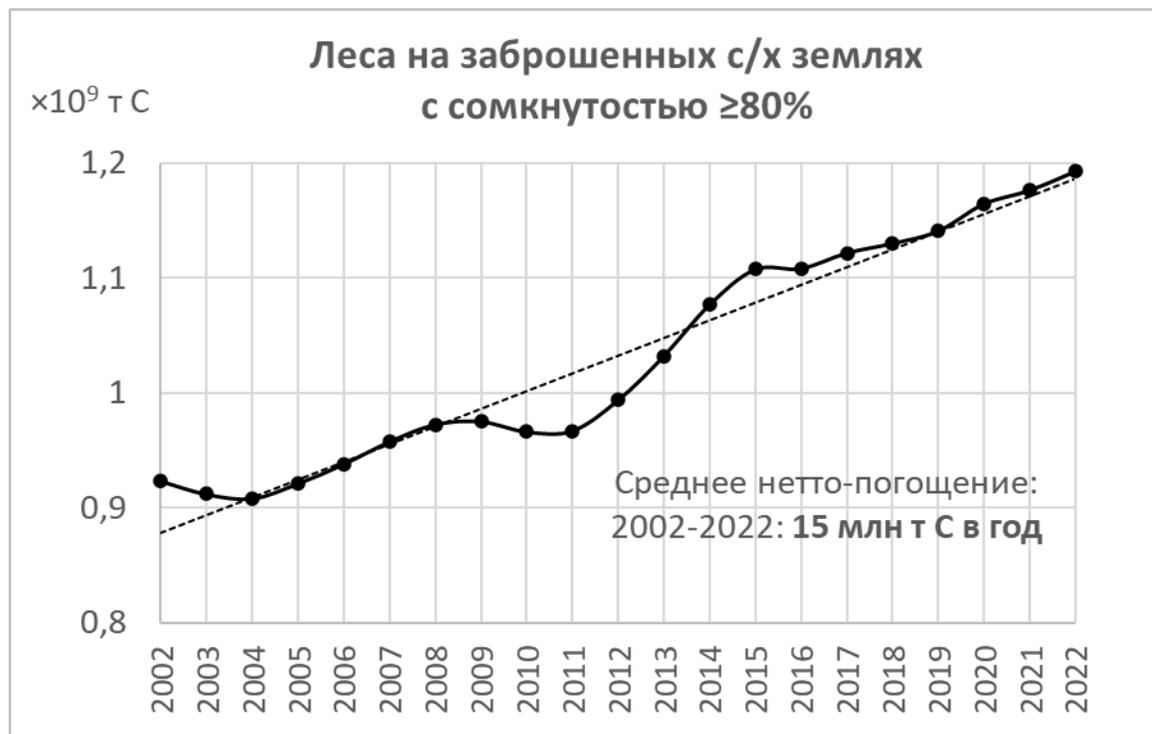
Оценки нетто-поглощения углерода лесами различных категорий



Оценки нетто-поглощения углерода редколесьями различных категорий



Оценки нетто-поглощения углерода лесами различной сомкнутости на заброшенных сельскохозяйственных землях



Некоторые региональные оценки нетто-поглощения углерода резервными лесами и редколесьями



Ближайшие задачи развития возможностей получения на основе ДЗЗ данных о лесах и других наземных экосистемах для Национального кадастра парниковых газов

- Проведение дополнительной верификации результатов дистанционной оценки характеристик лесов, в том числе, с использованием сети тестовых полигонов;
- Развитие автоматизированной технологии ежегодной оценки запасов вырубленного леса на основе данных ДЗЗ;
- Развитие модели сукцессионной смены древесных пород на вырубках и гарях в модуле оценки поглощения углерода нарушенными лесами;
- Развитие возможностей дистанционной оценки характеристик древесно-кустарниковой растительности незанятых лесом земель (естественные редины, болота и др.) для оценки их бюджета углерода;
- Развитие возможностей автоматизированной обработки временных рядов данных ДЗЗ пространственного разрешения 10-20 м для повышения полноты и точности оценок бюджета углерода в лесах;
- Разработка в составе ИАС «Углерод-Э» технологий автоматической обработки данных ДЗЗ и инструментов анализа получаемых результатов для ежегодной оценки бюджета углерода в лесах.



РИТМ
углерода

Спасибо за внимание !