



Применение методов дистанционного зондирования из космоса для мониторинга бюджета углерода в наземных экосистемах России

Барталев С.А.

Институт космических исследований РАН

Вступительные замечания

- 1) Современные возможности оценки и мониторинга бюджета углерода различных типов наземных экосистем России характеризуются **острым недостатком информации** о их пространственном распределении и занимаемой площади, характеристиках растительного и почвенного покровов, а также динамики их состояния под воздействием различного рода природных и антропогенных факторов;
- 2) Спутниковые методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) не имеют реальной альтернативы для мониторинга состояния наземных экосистем России, обеспечивая **беспрецедентную полноту охвата (вся страна) и регулярность (ежегодно) получения информации**;
- 3) **Разработка методов дистанционного мониторинга углерода наземных экосистем** на основе автоматизированной комплексной обработки спутниковых данных ДЗЗ, информации выборочных наземных наблюдений на репрезентативной сети тестовых полигонов и математико-экологических моделей **относится к числу ключевых задач Проекта «РИТМ Углерода»**.

Основные составляющие современных технологий спутникового мониторинга наземных экосистем



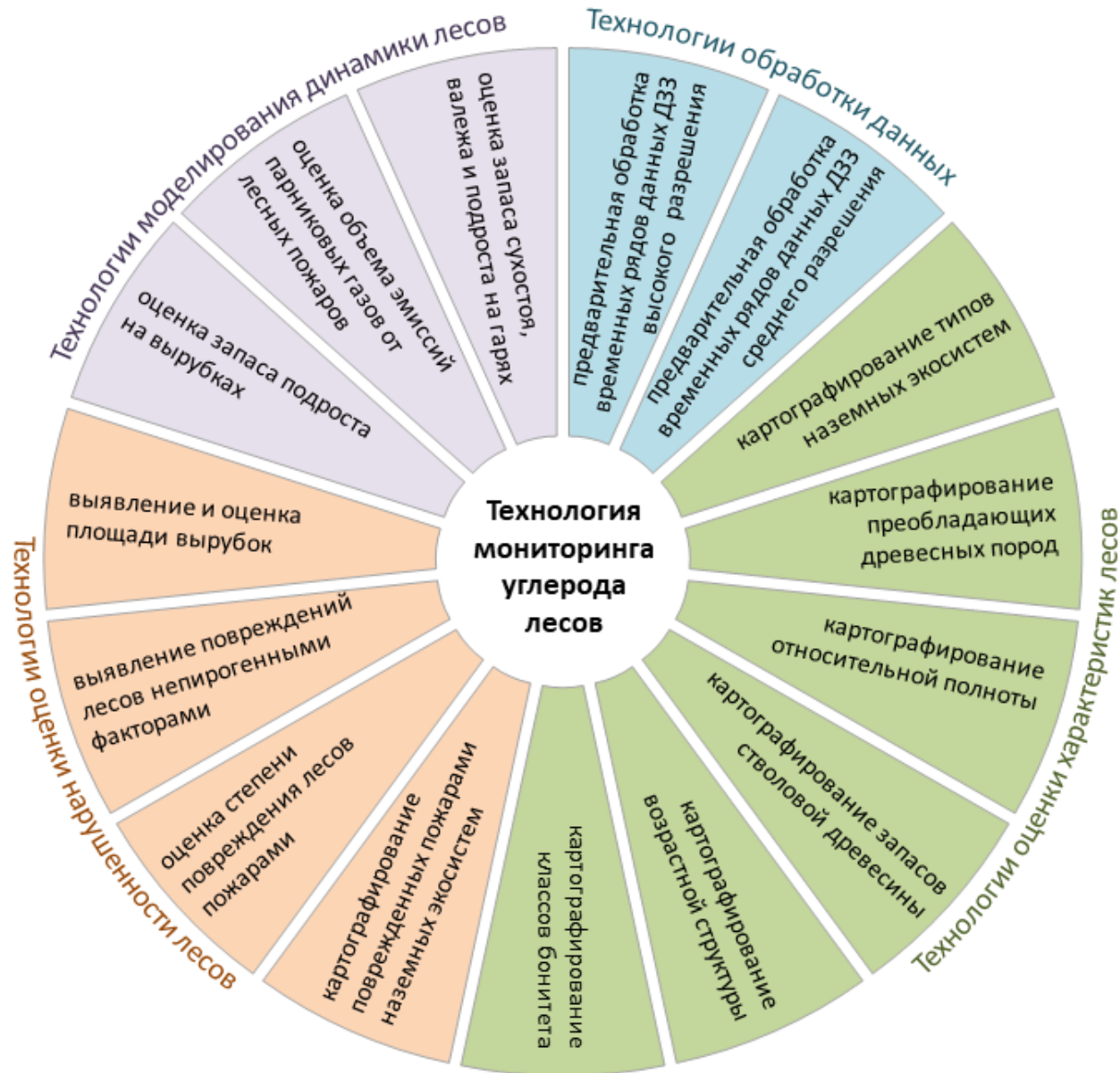
Интеграция данных и моделей для мониторинга углерода в лесах



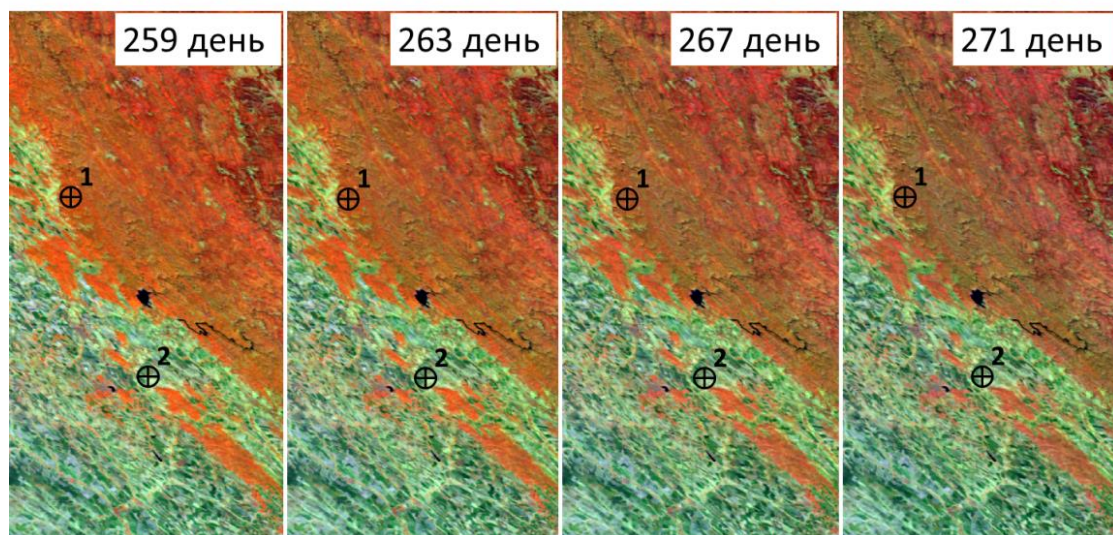
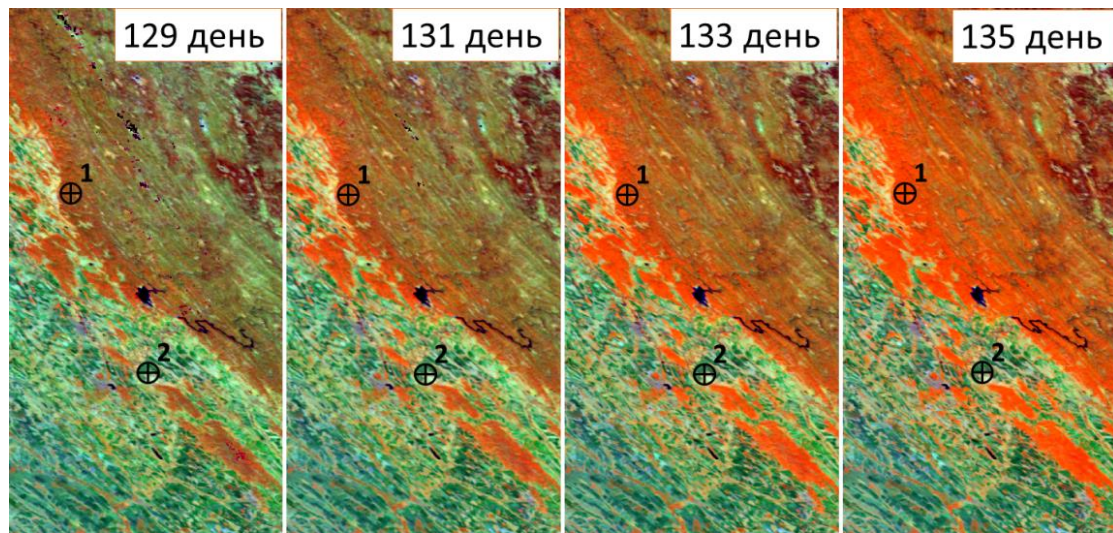
Концепция мониторинга углерода в лесах



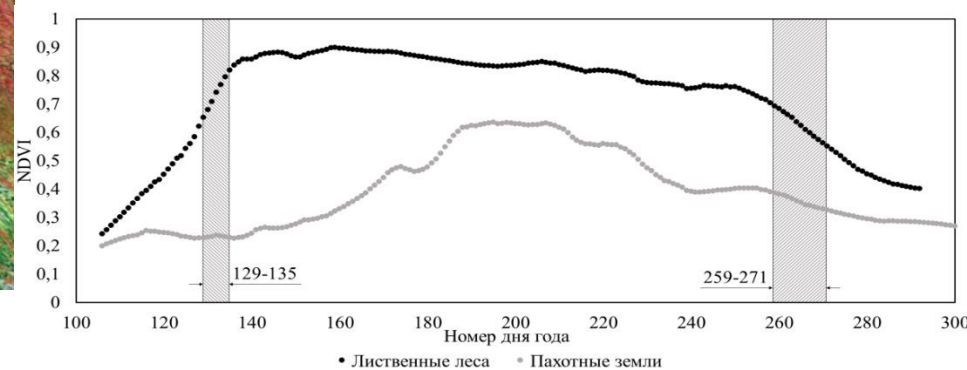
Структура комплекса технологий спутникового мониторинга углерода лесов России



Требования к спутниковым данным ДЗЗ для мониторинга наземных экосистем



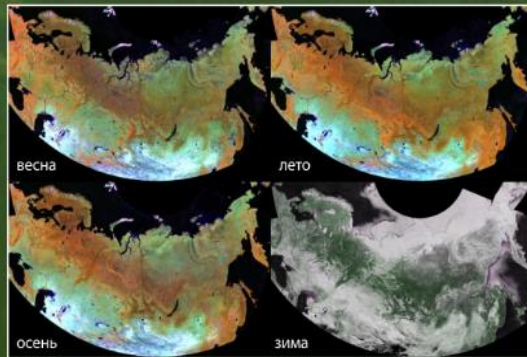
- однородные многолетние **ряды данных ДЗЗ высокого временного разрешения** (не реже чем 1 раз в 3-5 дней, предпочтительно ежедневно)
- данные измерений отражения земной поверхности **в видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах спектра**
- «штатная» предварительная обработка данных ДЗЗ, включая **радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию**
- глубокая очистка данных от влияния облаков и других мешающих факторов, **реконструкция непрерывных временных рядов**



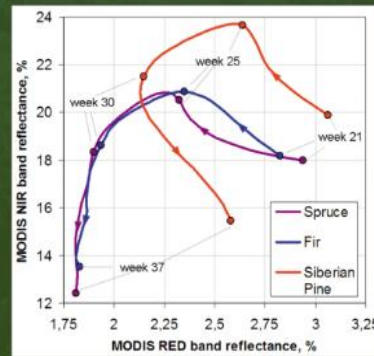
Концепция дистанционного мониторинга бюджета углерода лесов



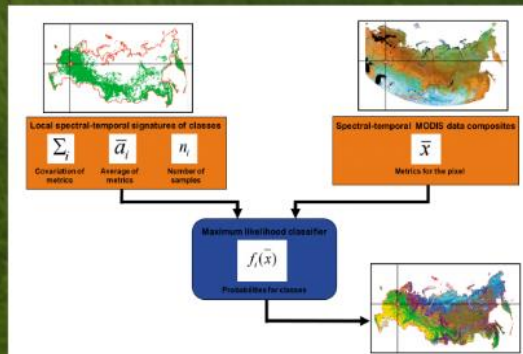
МЕТОДЫ СПУТНИКОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСОВ



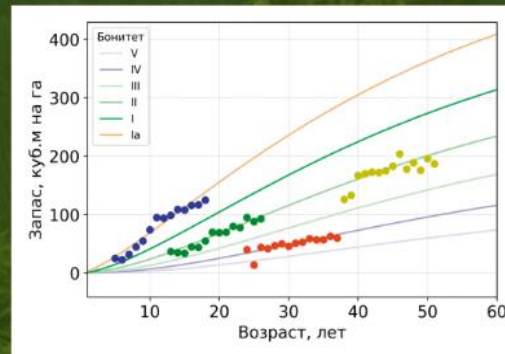
многoletние временные ряды очищенных от влияния облаков разносезонных композитных изображений



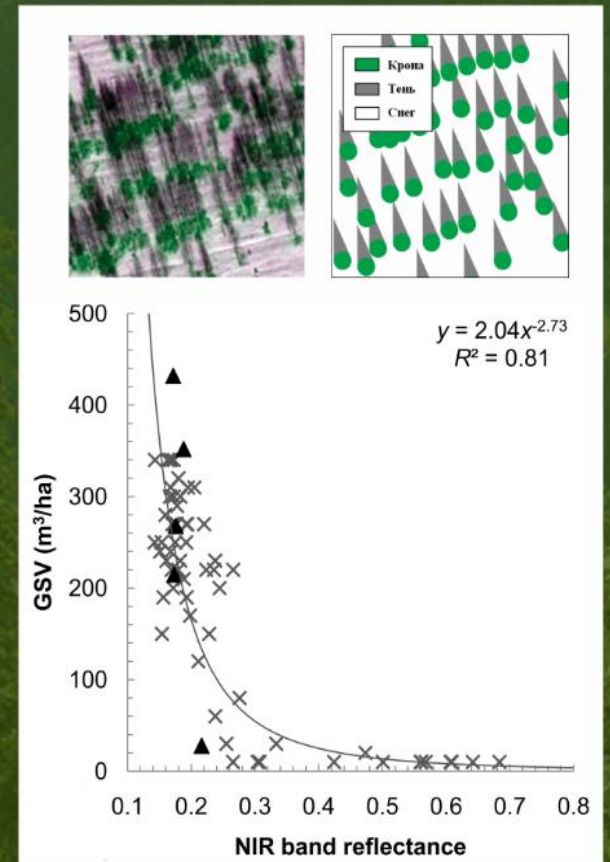
распознавание древесных пород лесов по их спектрально-временным признакам



алгоритмы локально-адаптивной классификации и оценивания характеристик земного покрова

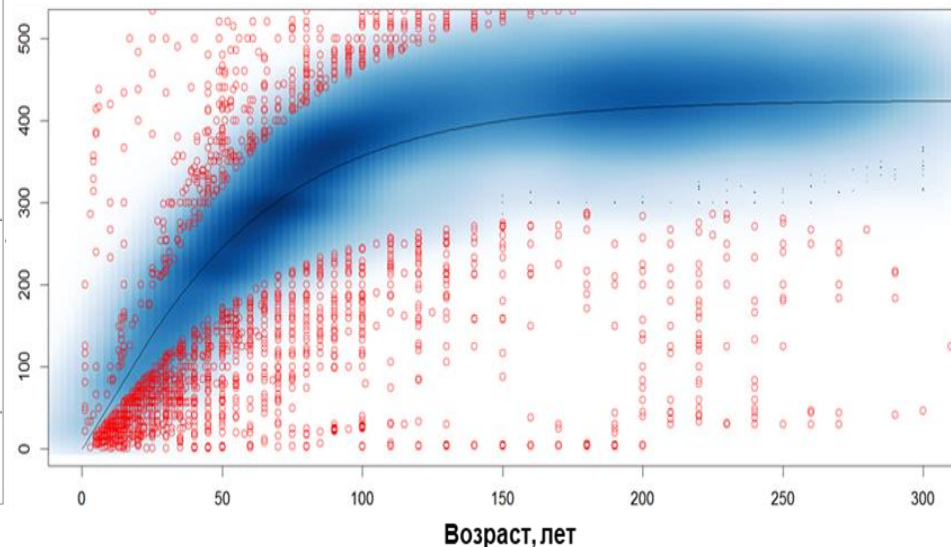
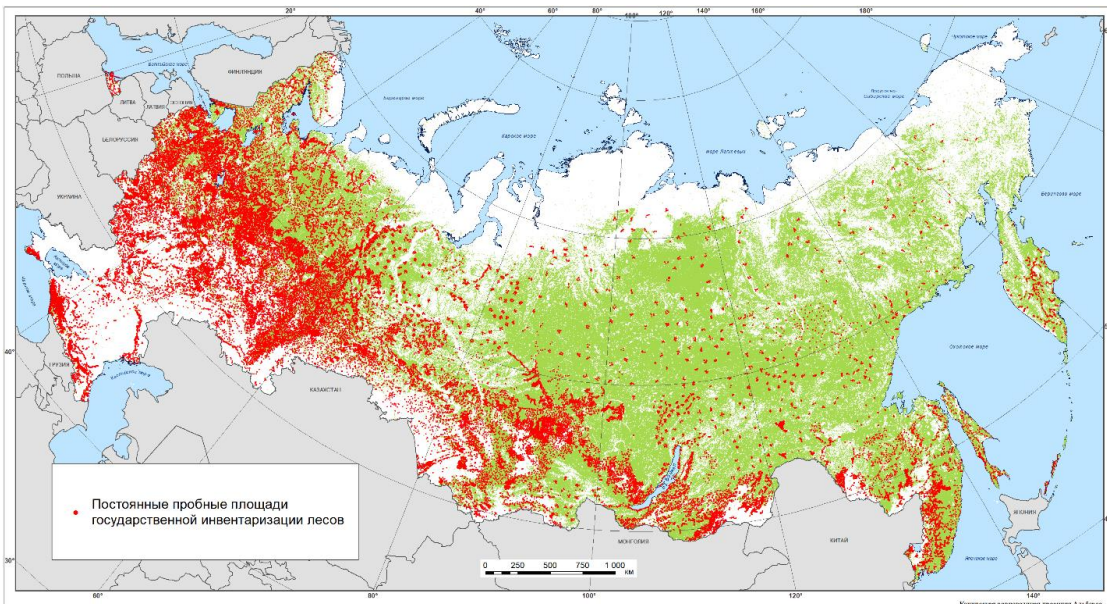


определение бонитета и возраста лесов с на основе моделей их динамики и ежегодных измерений запаса по данным ДЗЗ

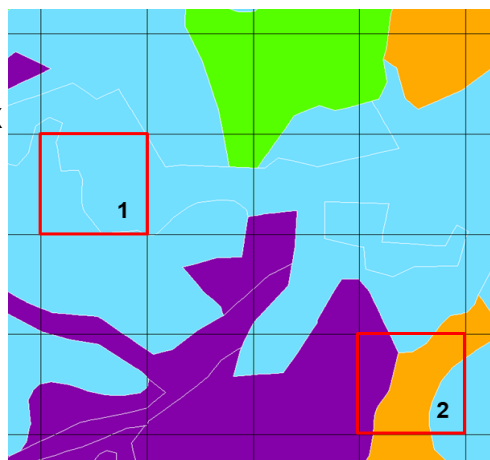


определение запаса лесов по данным съемки в зимнее время при наличии снежного покрова на земной поверхности

Подготовка опорных данных для обучения алгоритмов и верификации результатов



Оценка площади лесов различных преобладающих пород для участков, соответствующих пикселям данных ДЗЗ на основе материалов АЦО ГИЛ (черным обозначены границы пикселей, белым – границы выделов)



- Сосна
 - Ель
 - Береза
 - Осина
- Пиксель 1:
- 100% береза
- Пиксель 2:
- 20% береза
- 25% ель
- 55% сосна

Пример фильтрации данных АЦО ГИЛ на уровне выделов для насаждений лиственницы 2 класса бонитета. Синее облако точек – повыдельные данные, черная кривая – модель хода роста, красные точки – отфильтрованные выделы

ТИПЫ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЛЕСА:

- Темнохвойные вечнозеленые
- Светлохвойные вечнозеленые
- Лиственные
- Смешанные с преобладанием хвойных
- Смешанные
- Смешанные с преобладанием лиственных
- Хвойные листопадные (лиственничные)
- Редины хвойные листопадные

ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:

- Луга
 - Степи
 - Хвойные вечнозеленые кустарники
 - Лиственные кустарники
- ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ:**
- Болота
 - Прибрежная растительность

ТУНДРА:

- Кустарничковая
 - Осоковая
 - Кустарниковая
- ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:**
- Гари
 - Пахотные земли

НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ:
















- Открытые грунты и выходы горных пород
- Водные объекты
- Урбанизированные территории
- Вечные снега и льды

Коническая равноугольная проекция Альберса

ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ



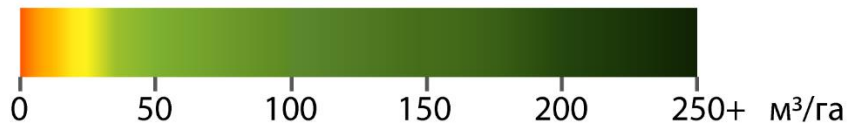
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | | |
|--|---|---|
|  Сосна |  Дуб |  Липа |
|  Ель |  Бук |  Клен |
|  Пихта |  Береза каменная |  Редкая лиственница |
|  Лиственница |  Береза |  Кедровый стланик |
|  Сибирский кедр |  Осина |  Лиственные кустарники |

ЗАПАС СЫРОРАСТУЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ



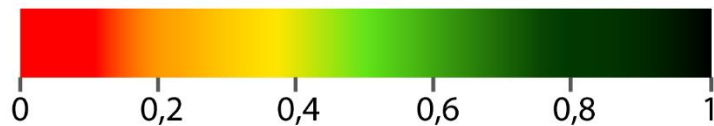
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



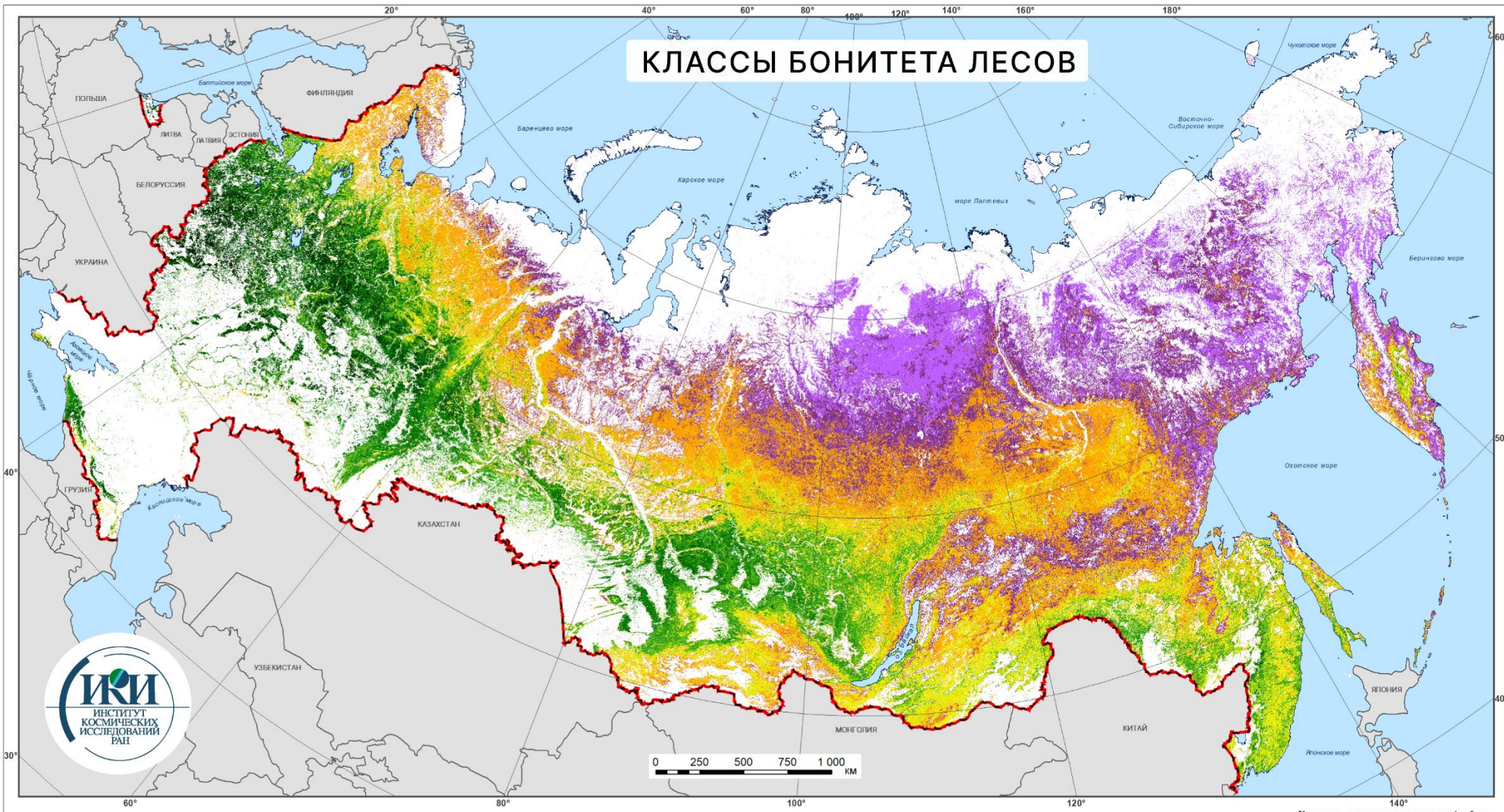
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ



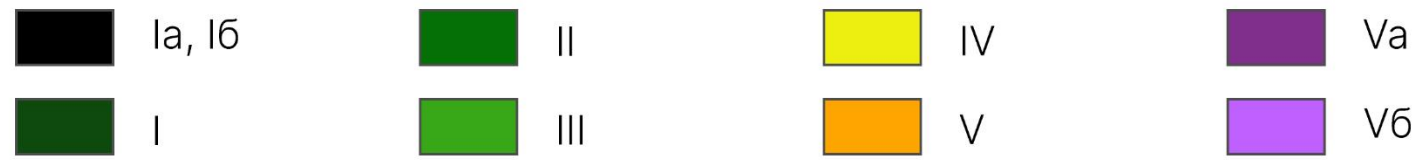
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



КЛАССЫ БОНИТЕТА ЛЕСОВ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Коническая равноугольная проекция Альберса

КЛАССЫ ВОЗРАСТА ЛЕСОВ



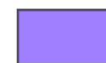
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Молодняки I класса



Средневозрастные



Спелые



Молодняки II класса



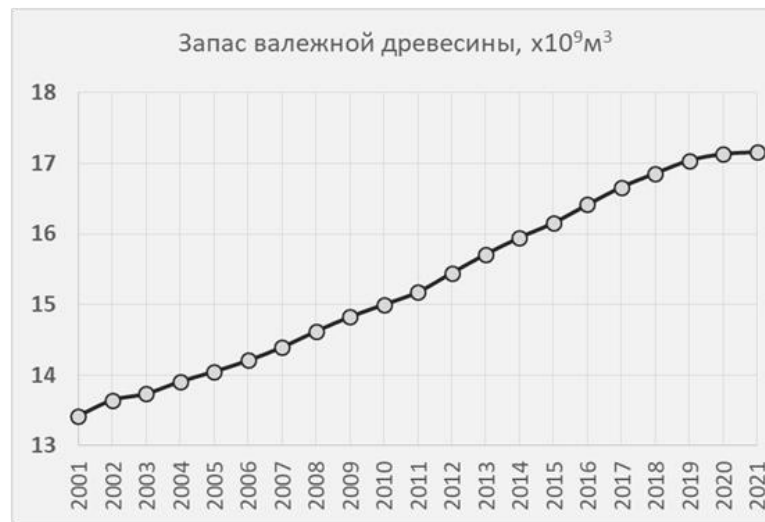
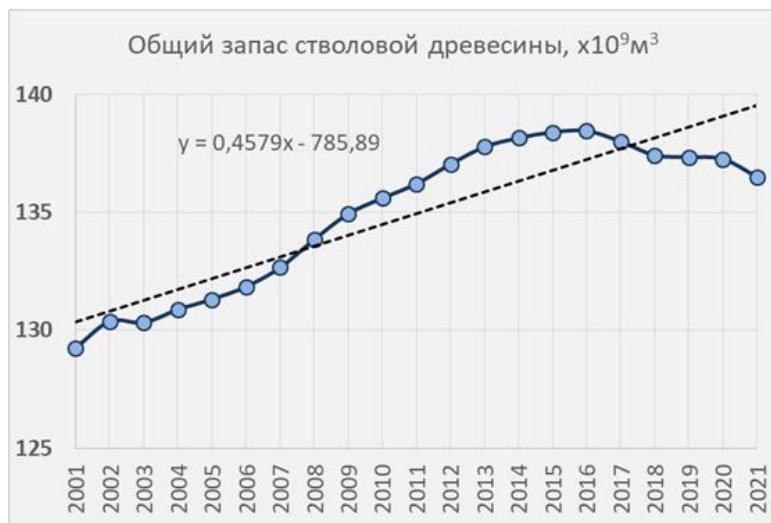
Приспевающие



Перестойные

Коническая равновесная проекция Альберса

Динамика запасов стволовой древесины в лесах России



По официальным данным запасы сырораствующей стволовой древесины в лесах РФ составляют $\sim 82 \text{ м}^3$

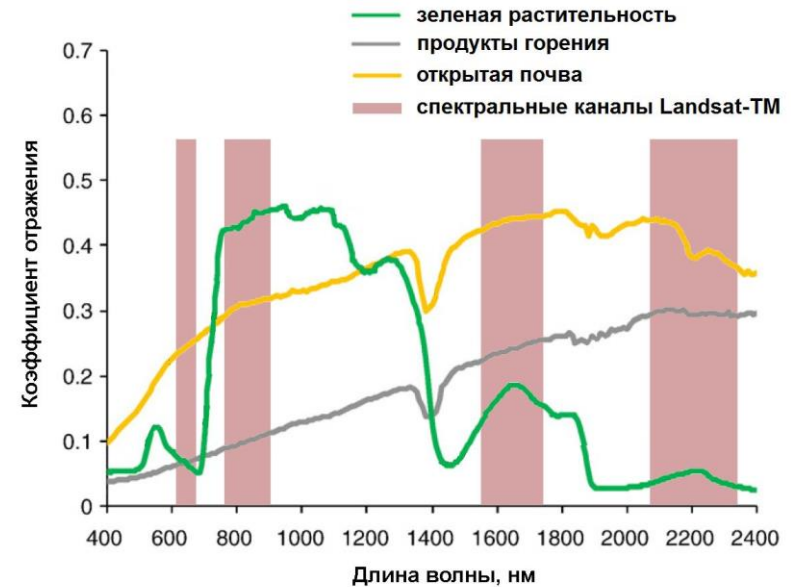
Физические основы оценки повреждений лесов по оптическим данным ДЗЗ

Коротковолновый вегетационный индекс SWVI:

$$SWVI = \frac{R_{nir} - R_{swir}}{R_{nir} + R_{swir}}$$

R_{nir} – отражательная способность в канале 0.8 мкм

R_{sswir} - отражательная способность в канале 1.6 мкм

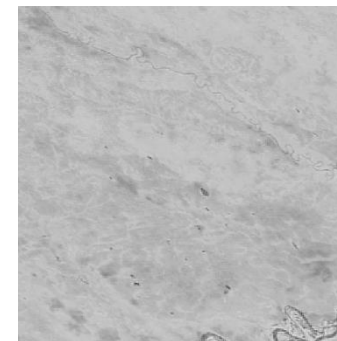


Отражательная способность растительности, открытой почвы и продуктов горения (De Santis et al, 2009), а также спектральные каналы Landsat-TM

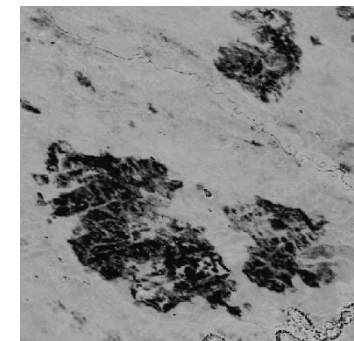
Относительный разностный вегетационный индекс RdSWVI:

$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}}$$

$SWVI_{pre}$ и $SWVI_{post}$ - значения индекса до и после пожара

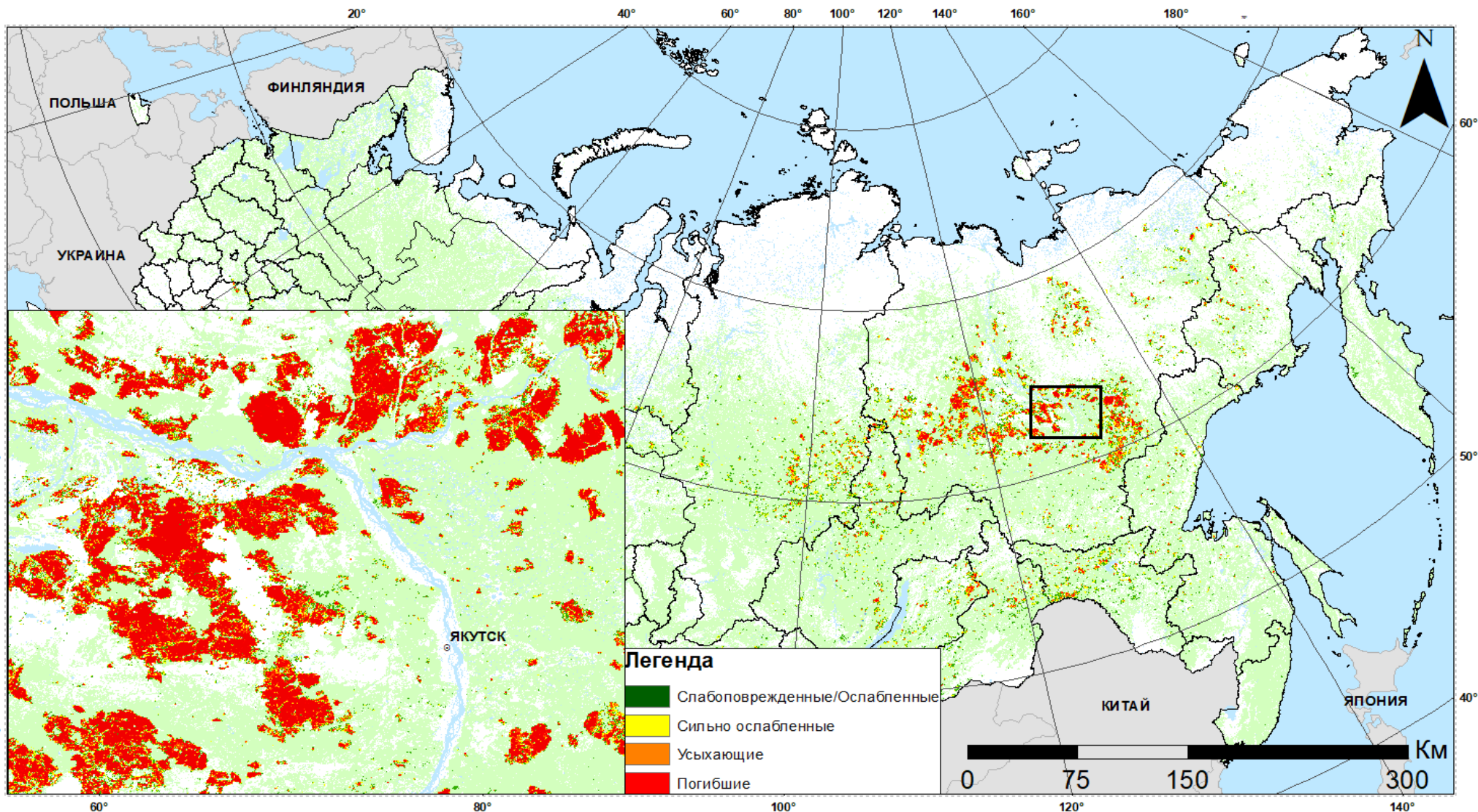


Изображение индекса SWVI до пожара



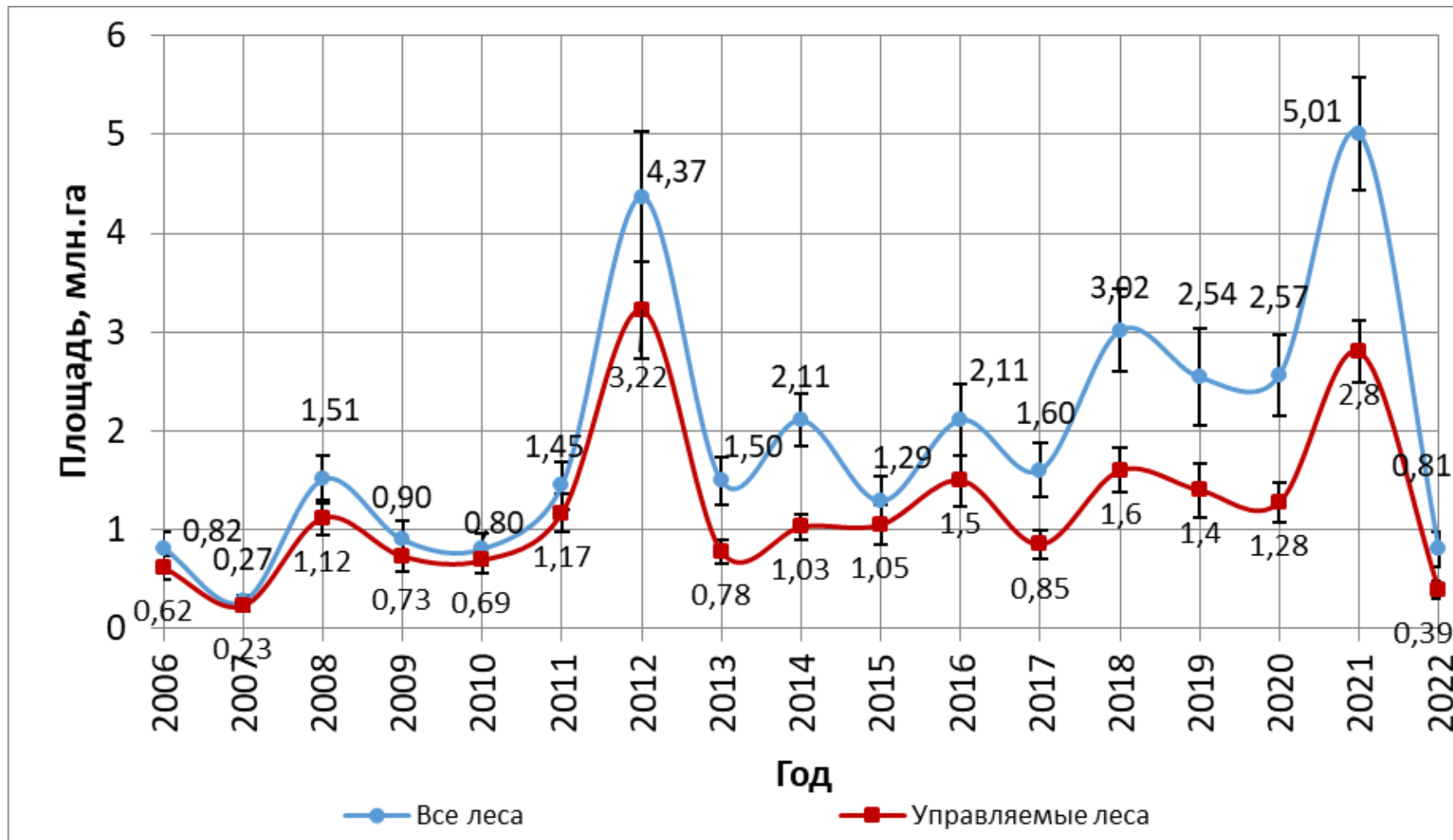
Изображение индекса SWVI после пожара

Спутниковая оценка гибели лесов от пожаров



Совокупная площадь погибших от пожаров лесов России в 2006-2022 годах составила около 31,5 млн.га

Результаты оценки площади погибших от пожаров лесов на основе данных ДЗЗ

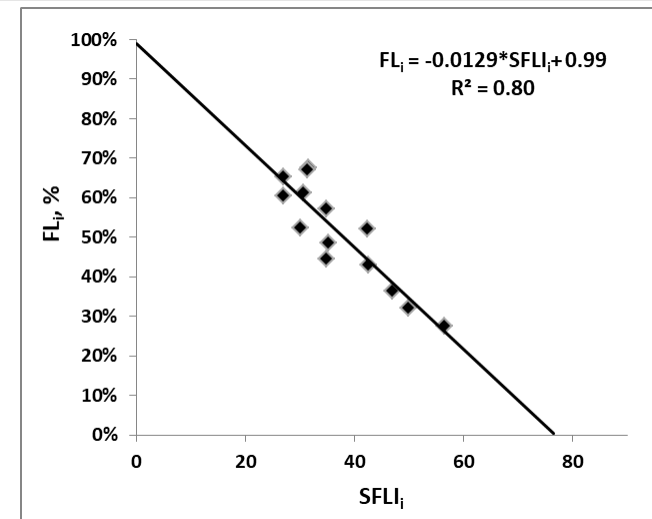
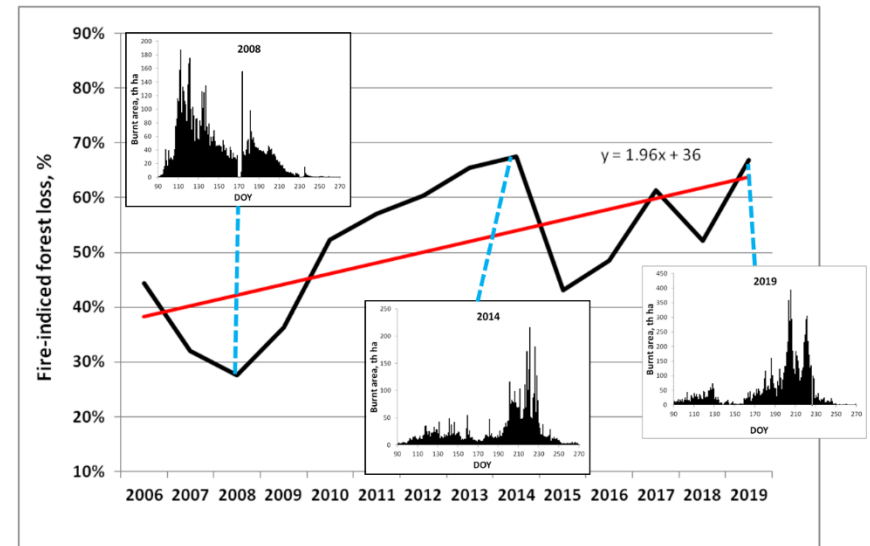
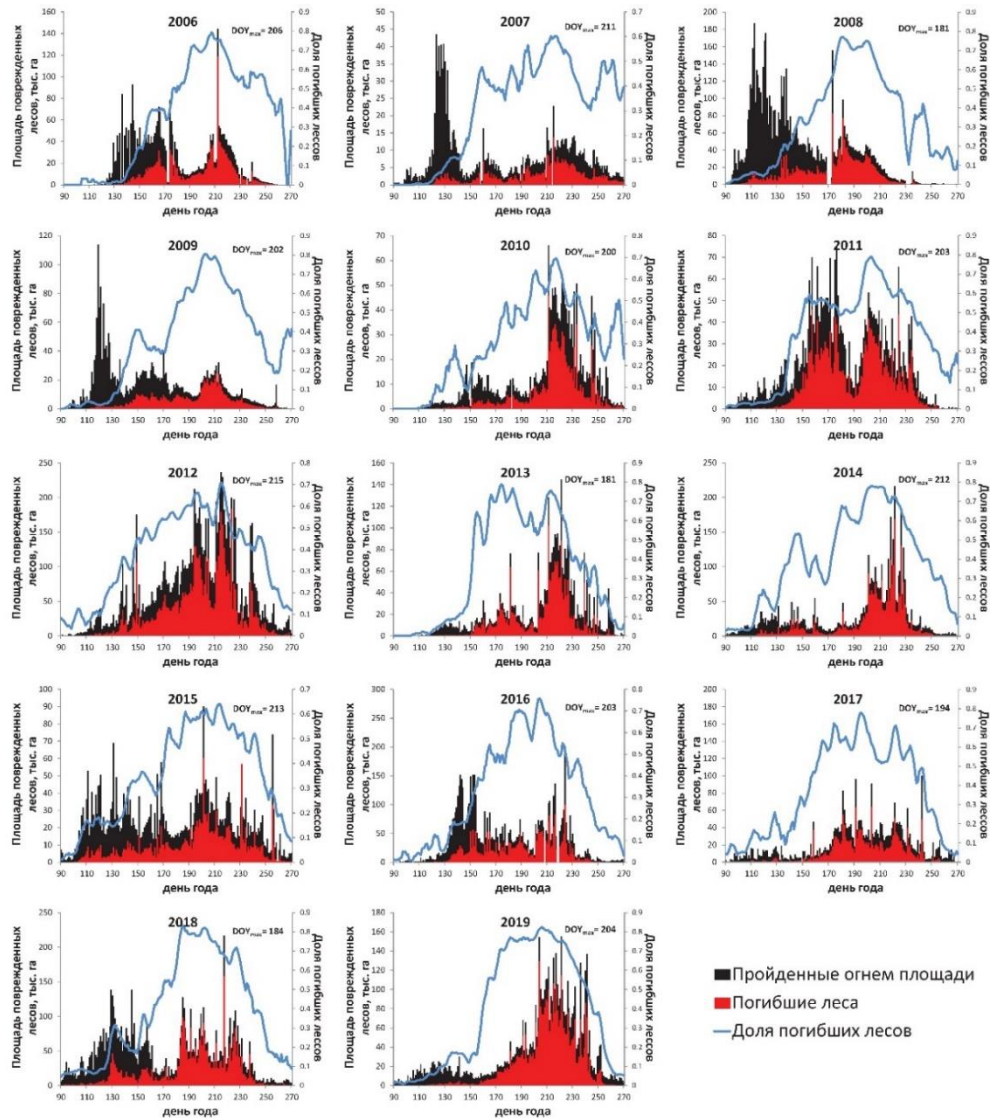


Среднегодовая площадь погибших от пожаров лесов по данным ДЗЗ: 1.92 млн га

Среднегодовая фактическая площадь погибших от пожаров управляемых лесов по данным ДЗЗ: 1.20 млн га

Среднегодовая расчетная площадь погибших от пожаров управляемых лесов по данным ГЛР: 1.47 млн га

Оценка летальности лесных пожаров

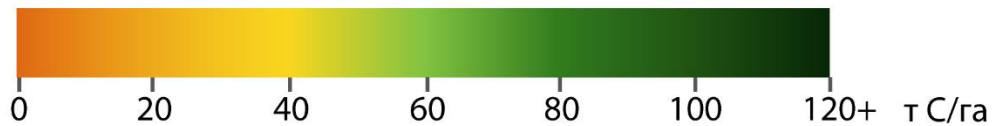


Индекс летальности лесных пожаров

ЗАПАС УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ



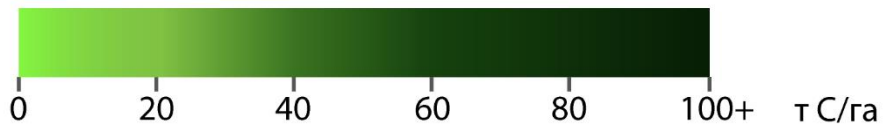
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



ЗАПАС УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ



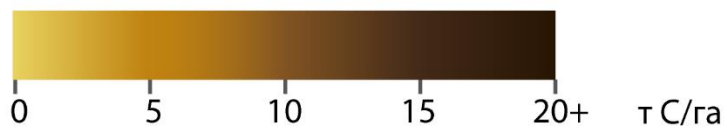
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



ЗАПАС УГЛЕРОДА В МОРТМАССЕ ЛЕСОВ



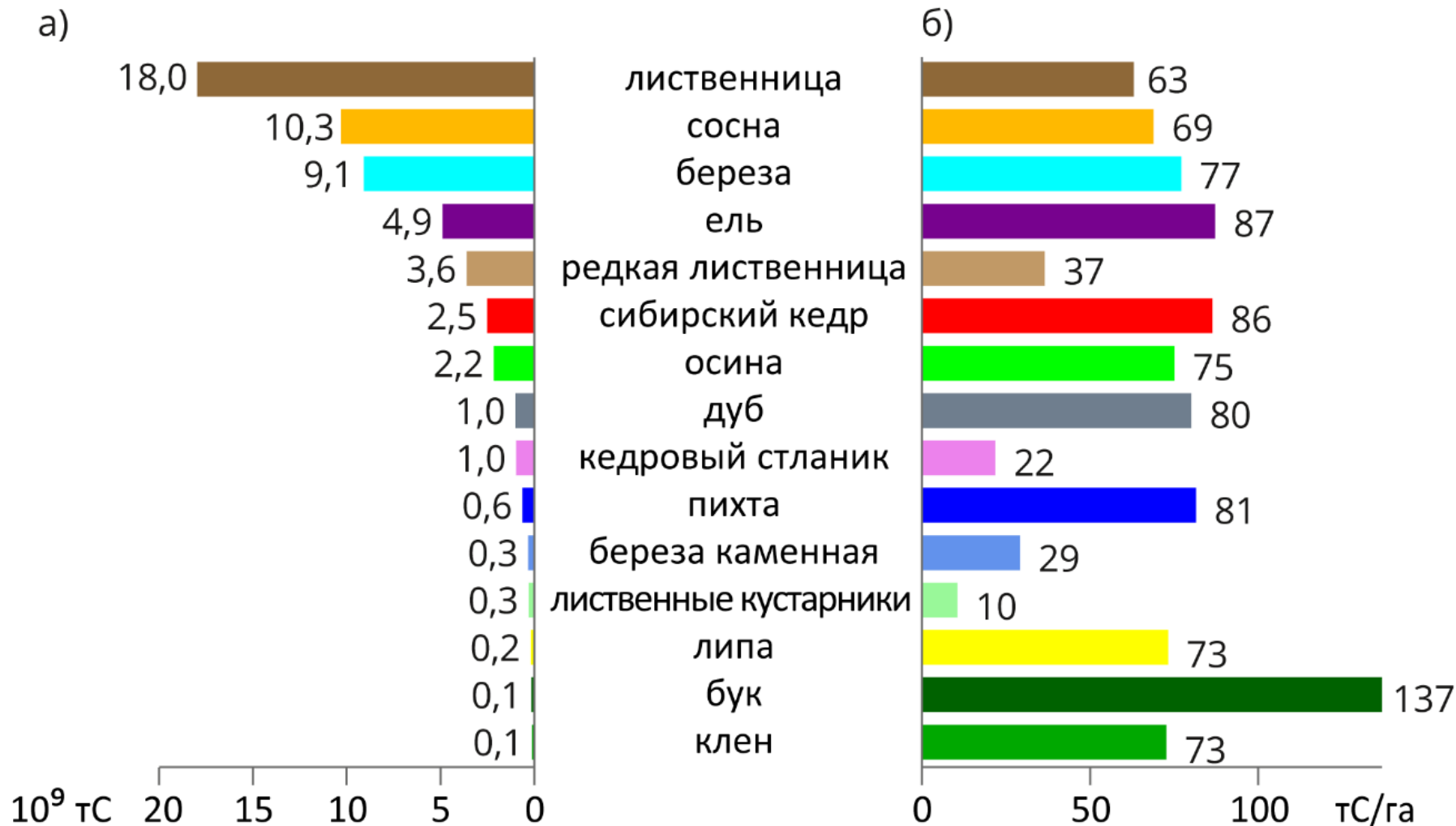
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



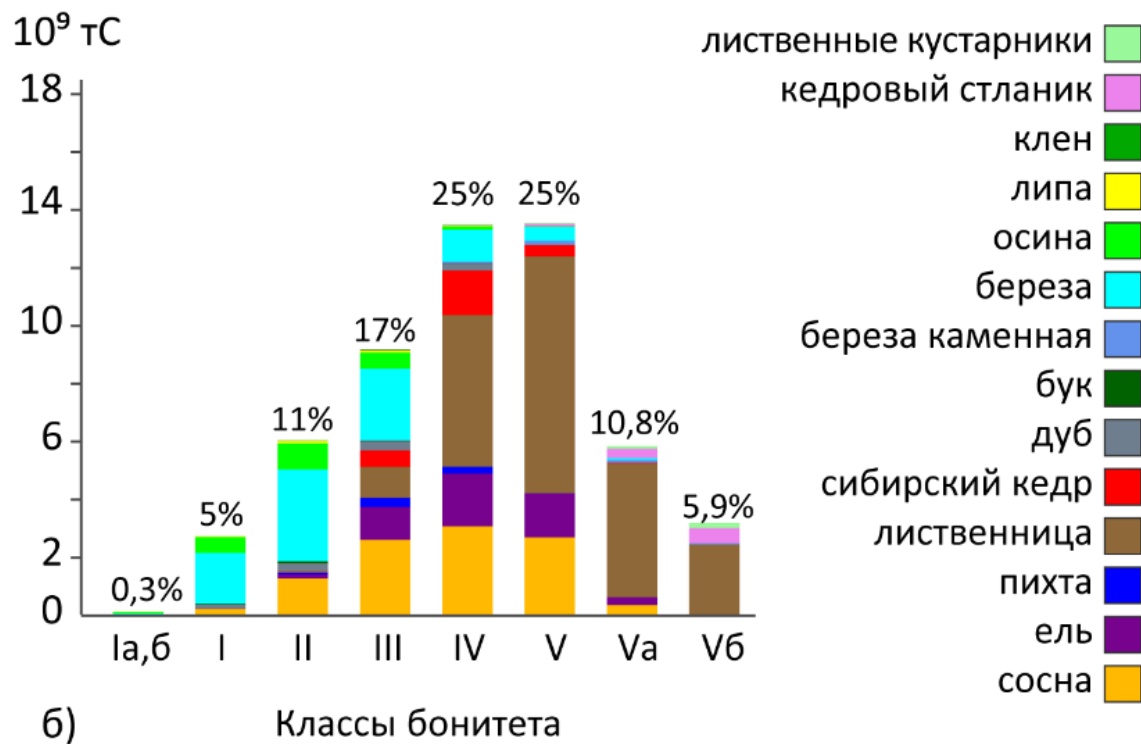
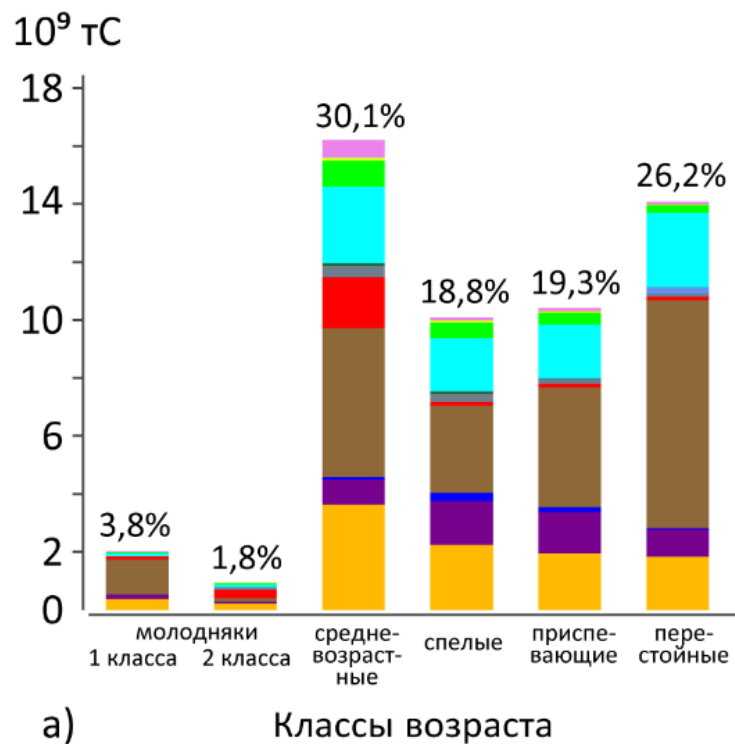
Запасы углерода в растительной биомассе лесов России



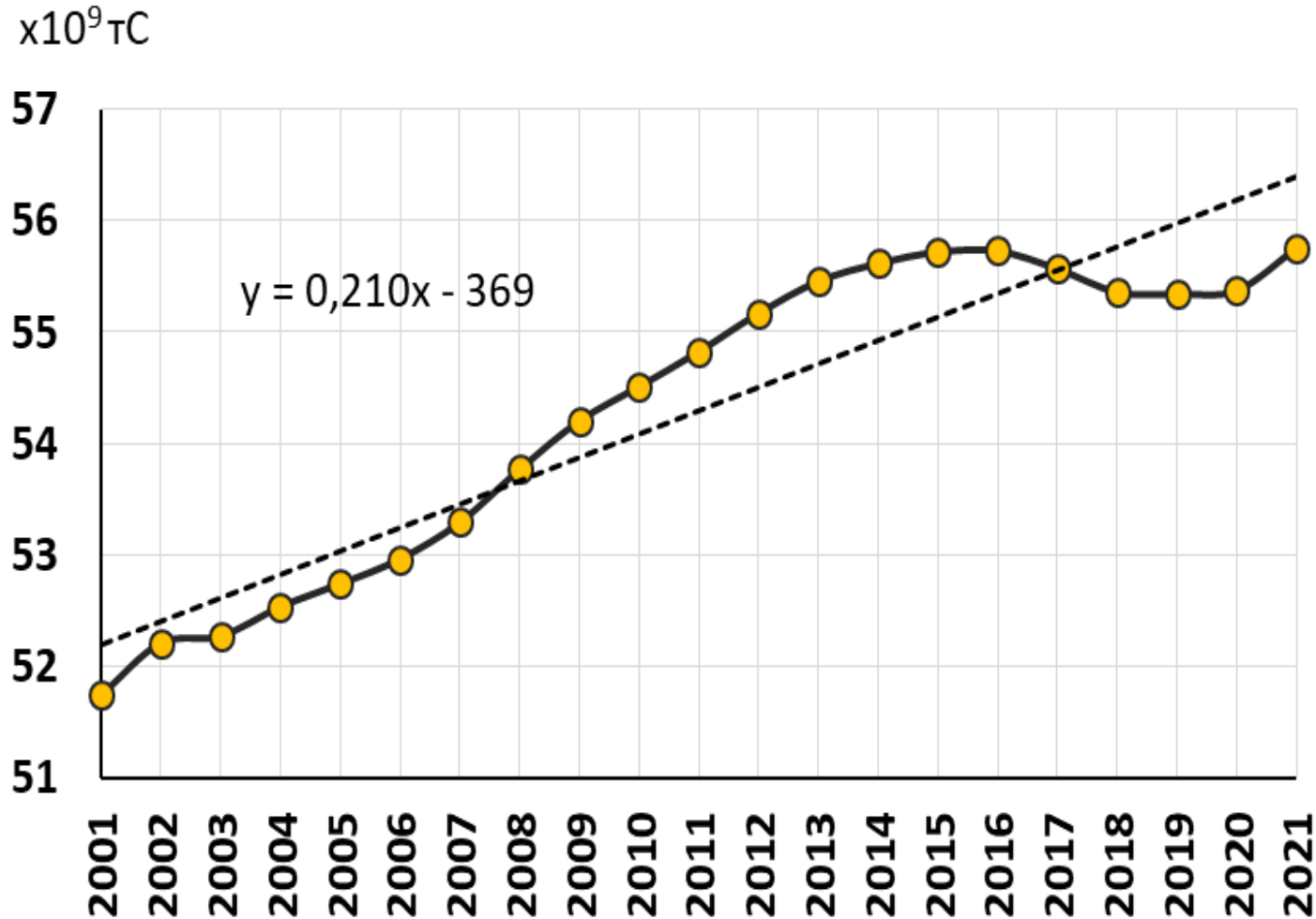
Запасы углерода в лесах различных преобладающих пород на 2021 год



Запасы углерода лесов различных преобладающих пород по классам возраста и бонитета на 2021 год



Динамика запасов углерода в растительной биомассе лесов России



ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА

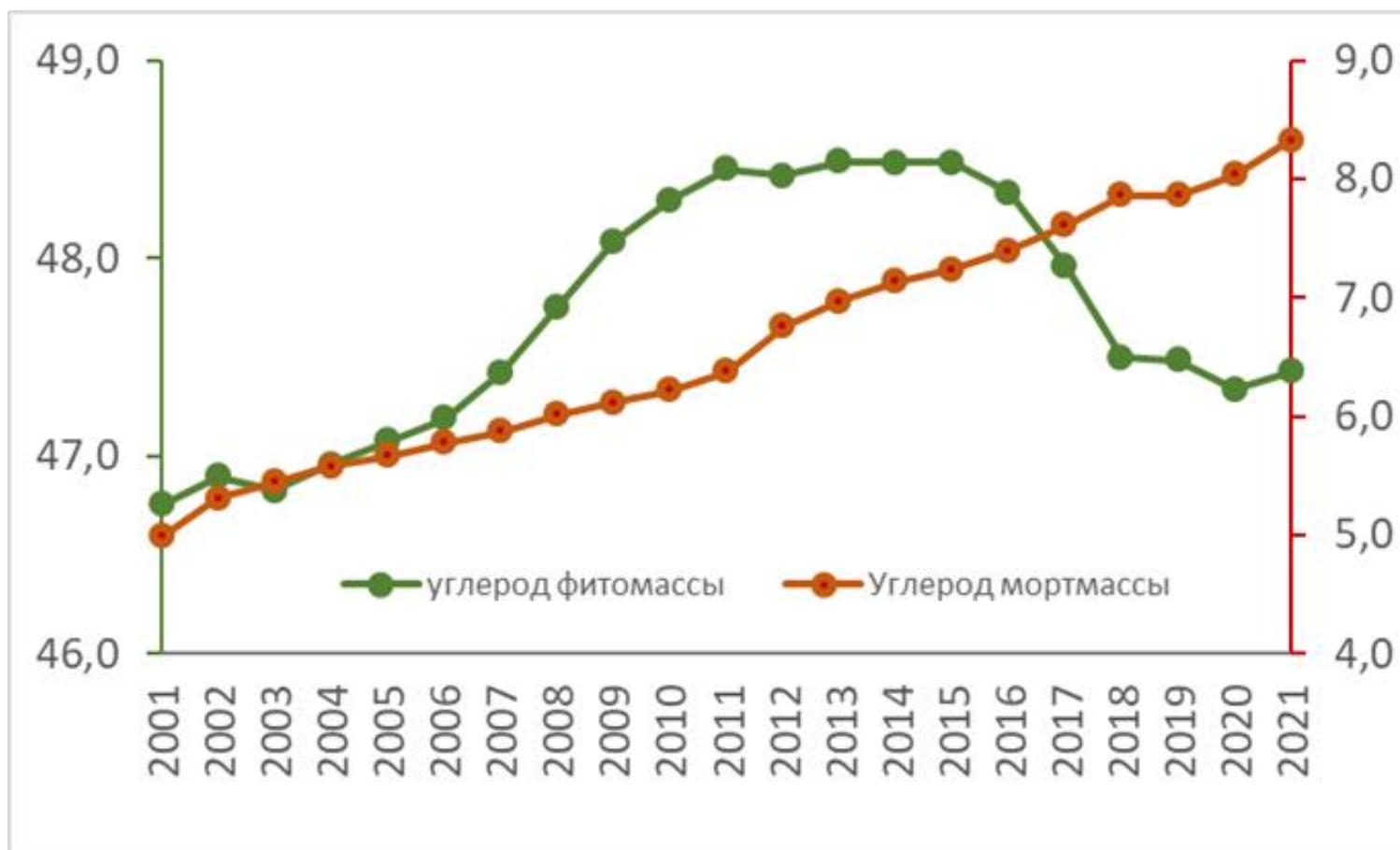


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

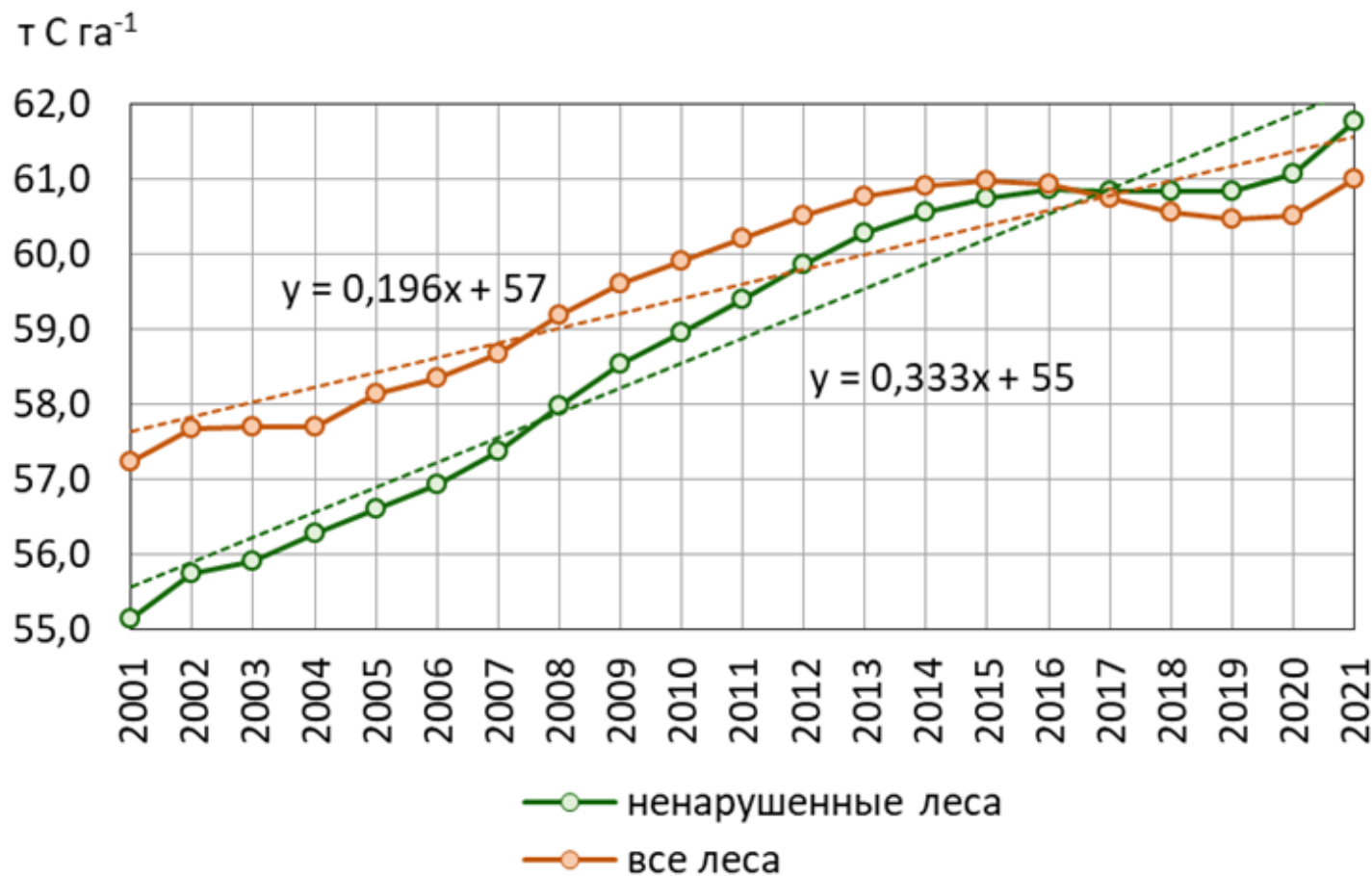
СРЕДНЕГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА, т С га⁻¹ год⁻¹:



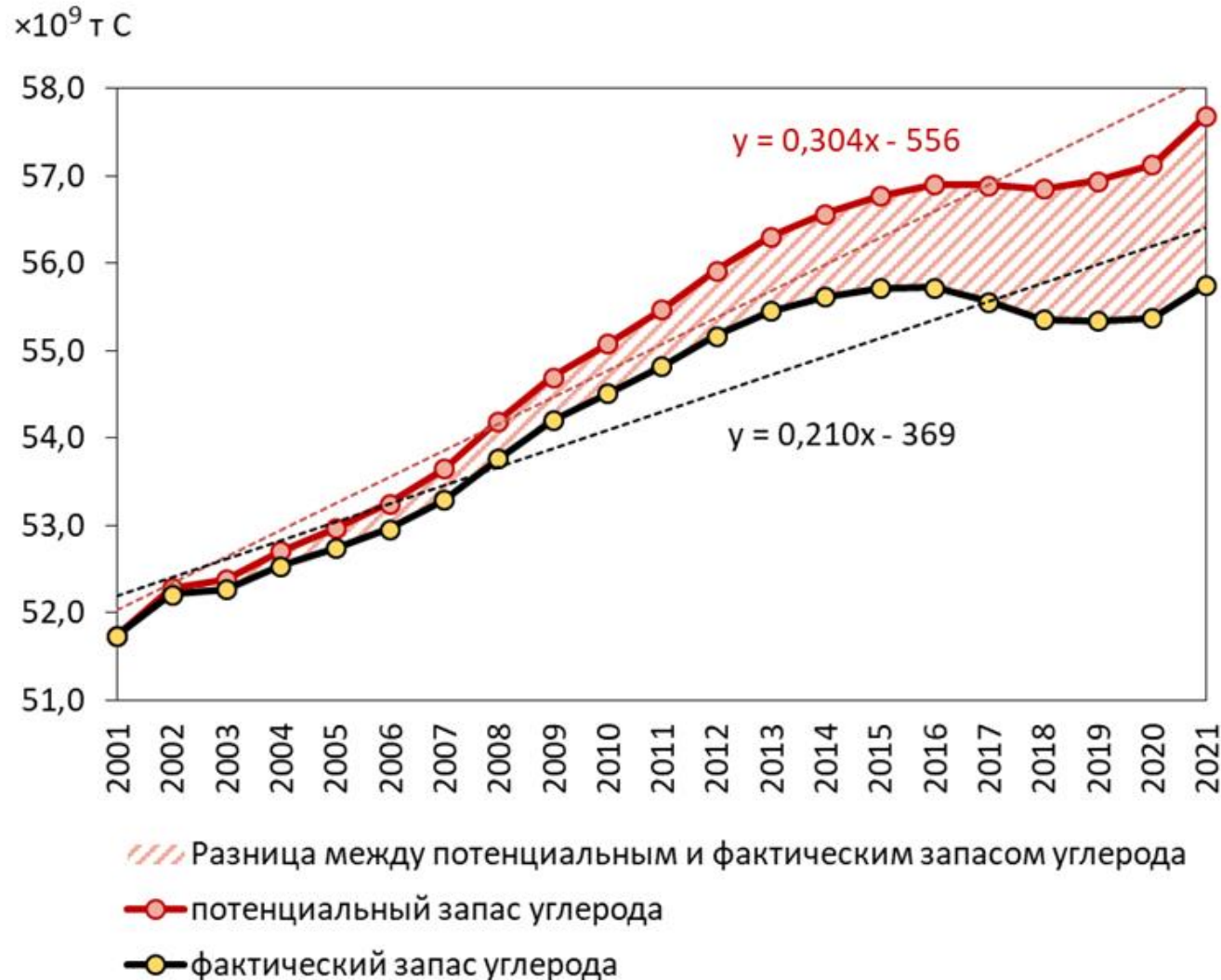
Динамика запасов углерода в фитомассе и мортмассе лесов России



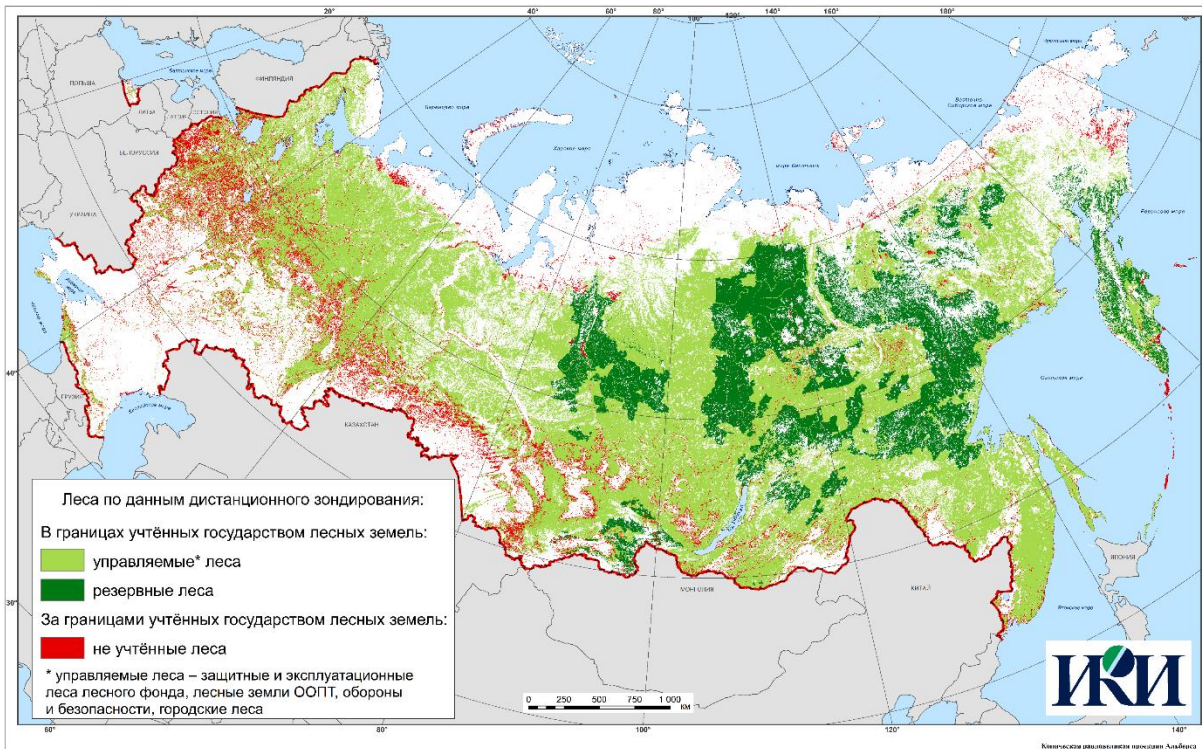
Динамика запасов углерода в биомассе нарушенных лесов России



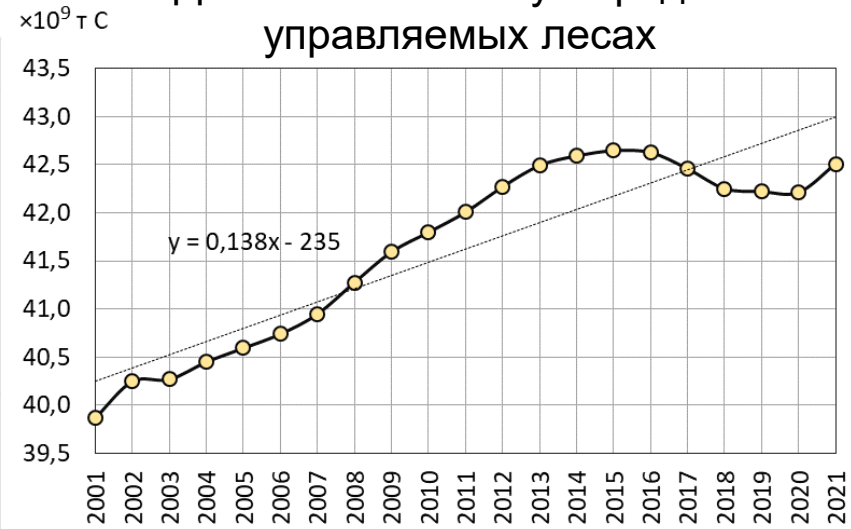
Динамика фактического и потенциального запаса углерода лесов России



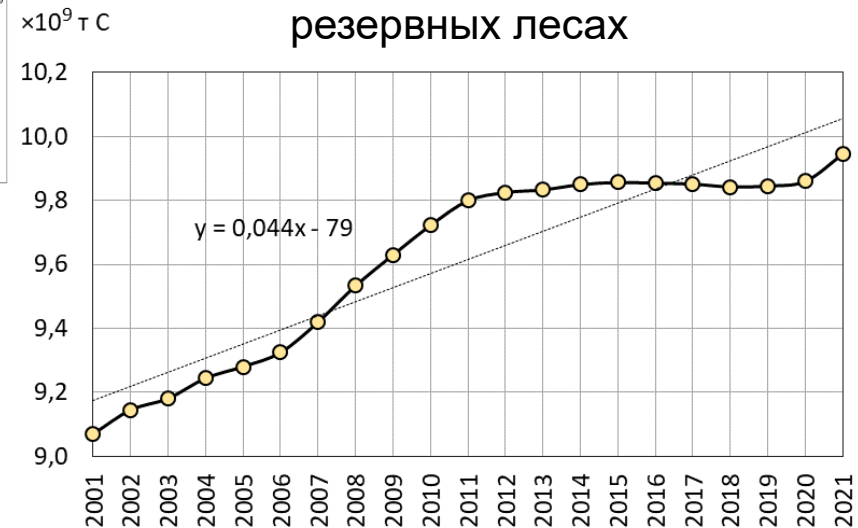
Динамика запаса углерода в управляемых и резервных лесах



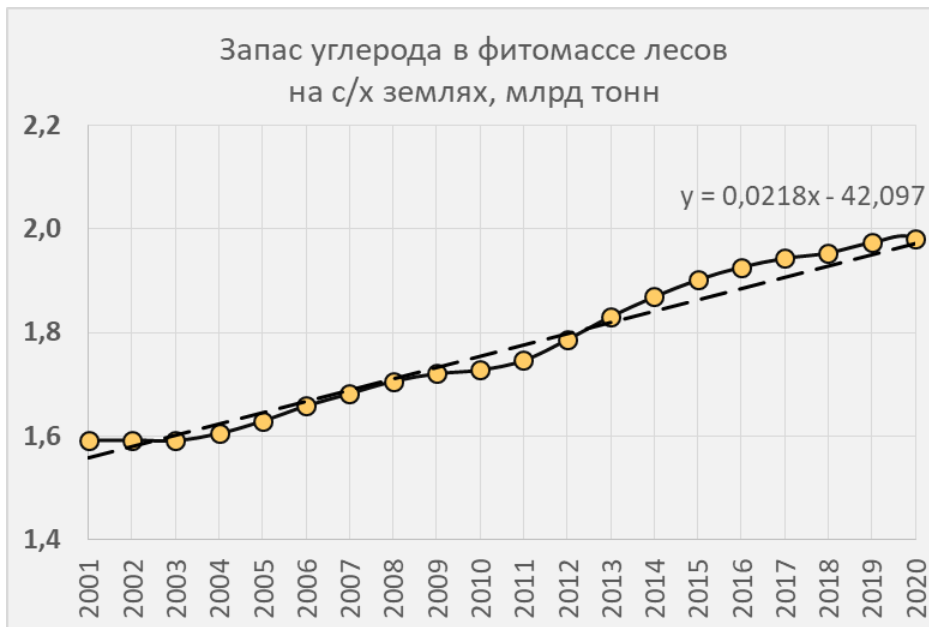
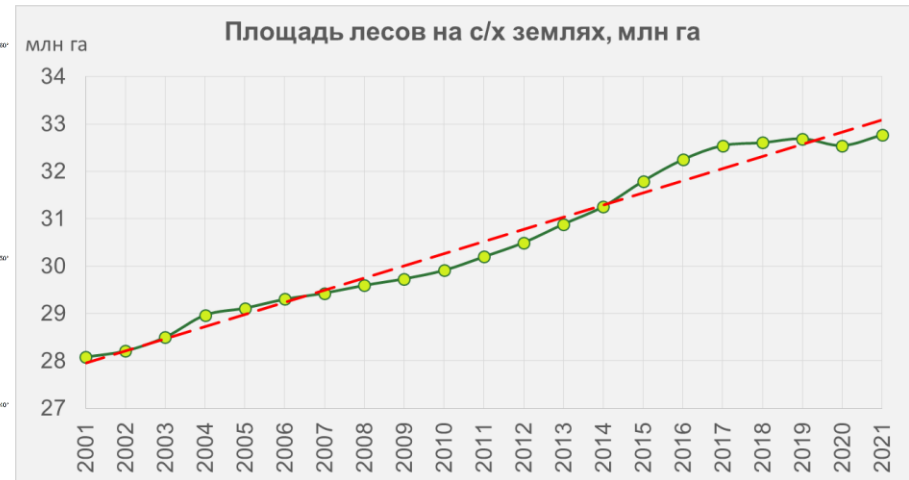
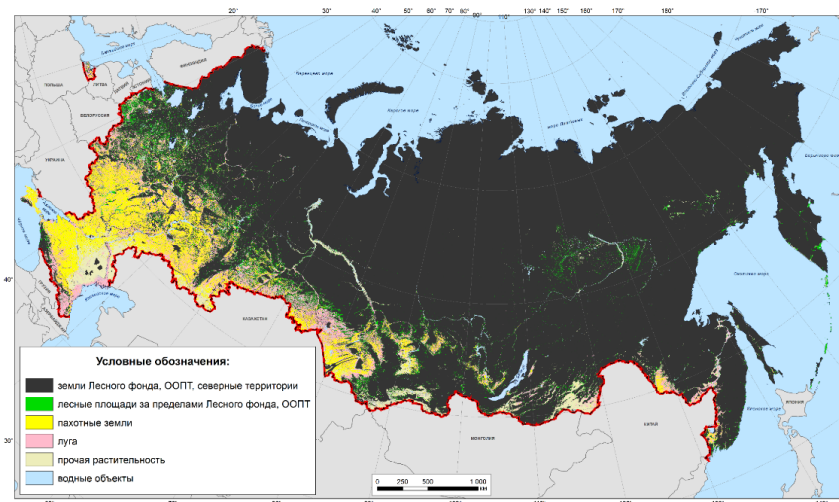
Динамика запаса углерода в управляемых лесах



Динамика запаса углерода в резервных лесах

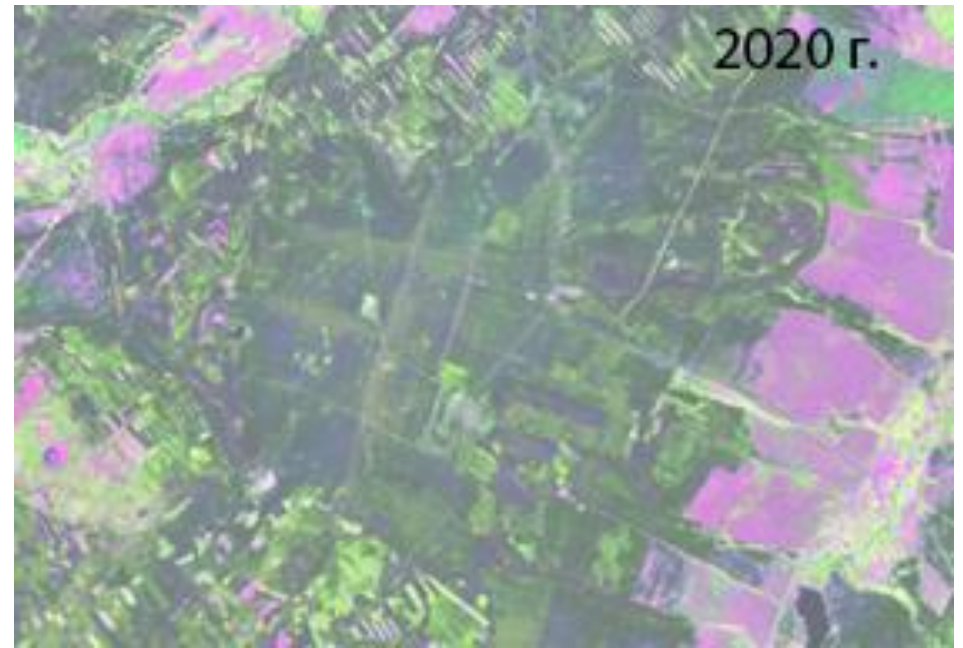


Леса на заброшенных с/х землях



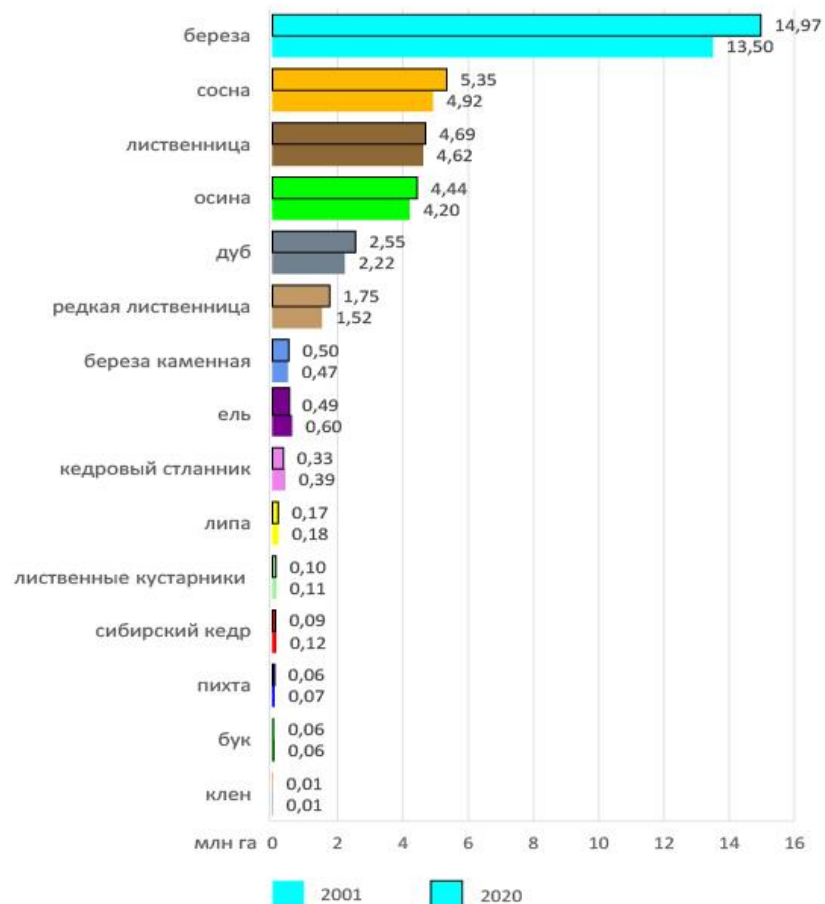
Средние темпы увеличения площади лесов на заброшенных с/х землях в 2001-2021 годах составляют около 230×10^3 га/год, а средний прирост запасов углерода в фитомассе лесов около 22×10^6 тС/год.

Пример зарастания лесом с/х земель в Ульяновской области в период 2001-2020 годов



Породный состав лесов

Породный состав лесов на заброшенных с/х землях

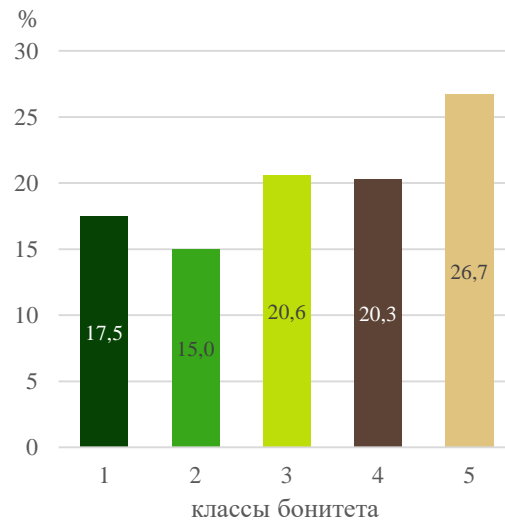


Породный состав лесов на с/х землях, заросших в период 2001-2020 гг.:

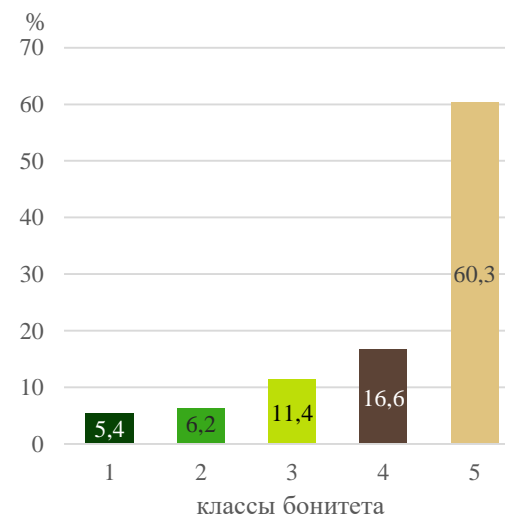


Продуктивность лесов

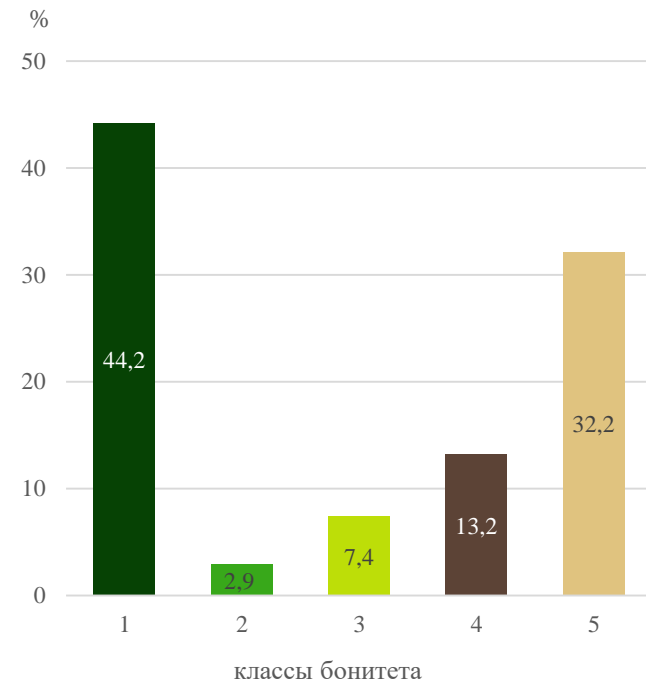
Распределение лесов на заброшенных с/х землях по классам бонитета:



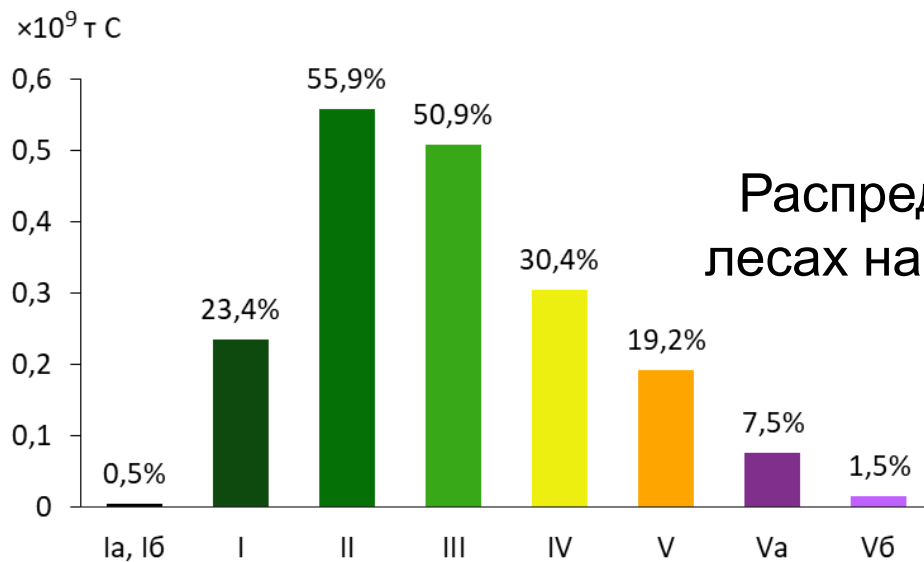
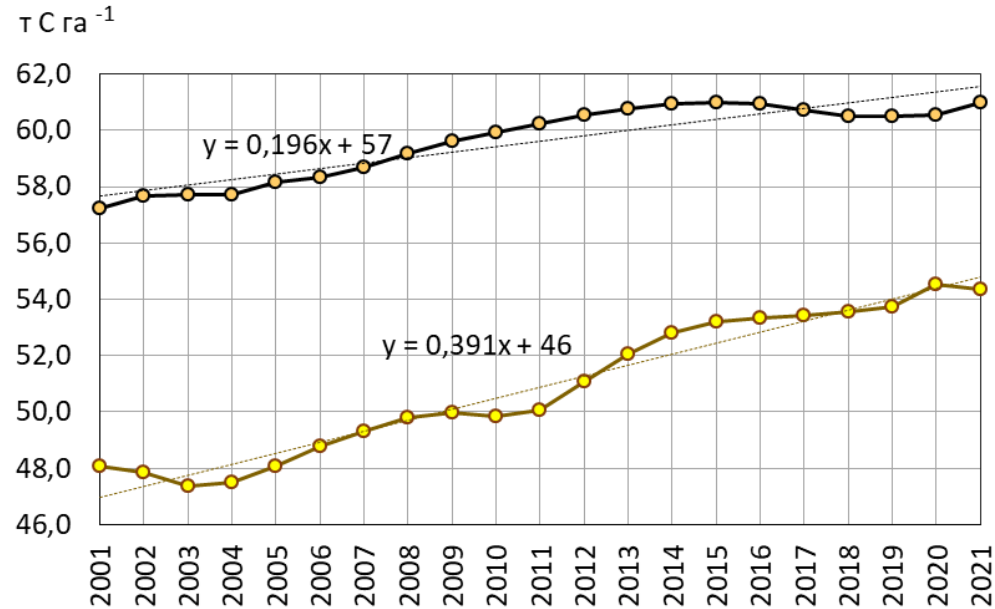
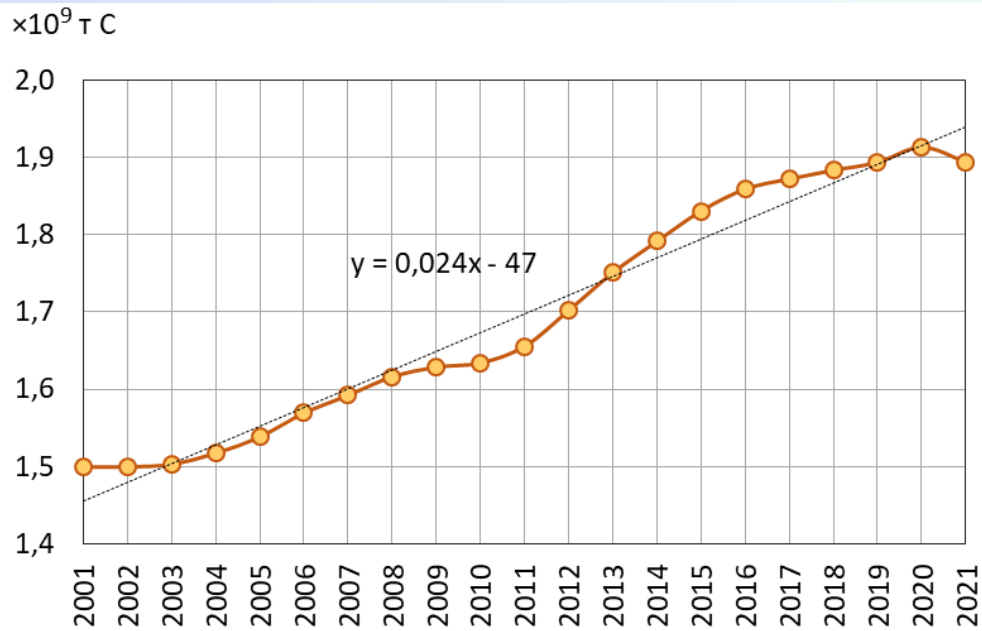
Распределение лесов на землях Лесного фонда по классам бонитета:



Распределение лесов на землях заросших в период 2001-2020 гг. по классам бонитета:

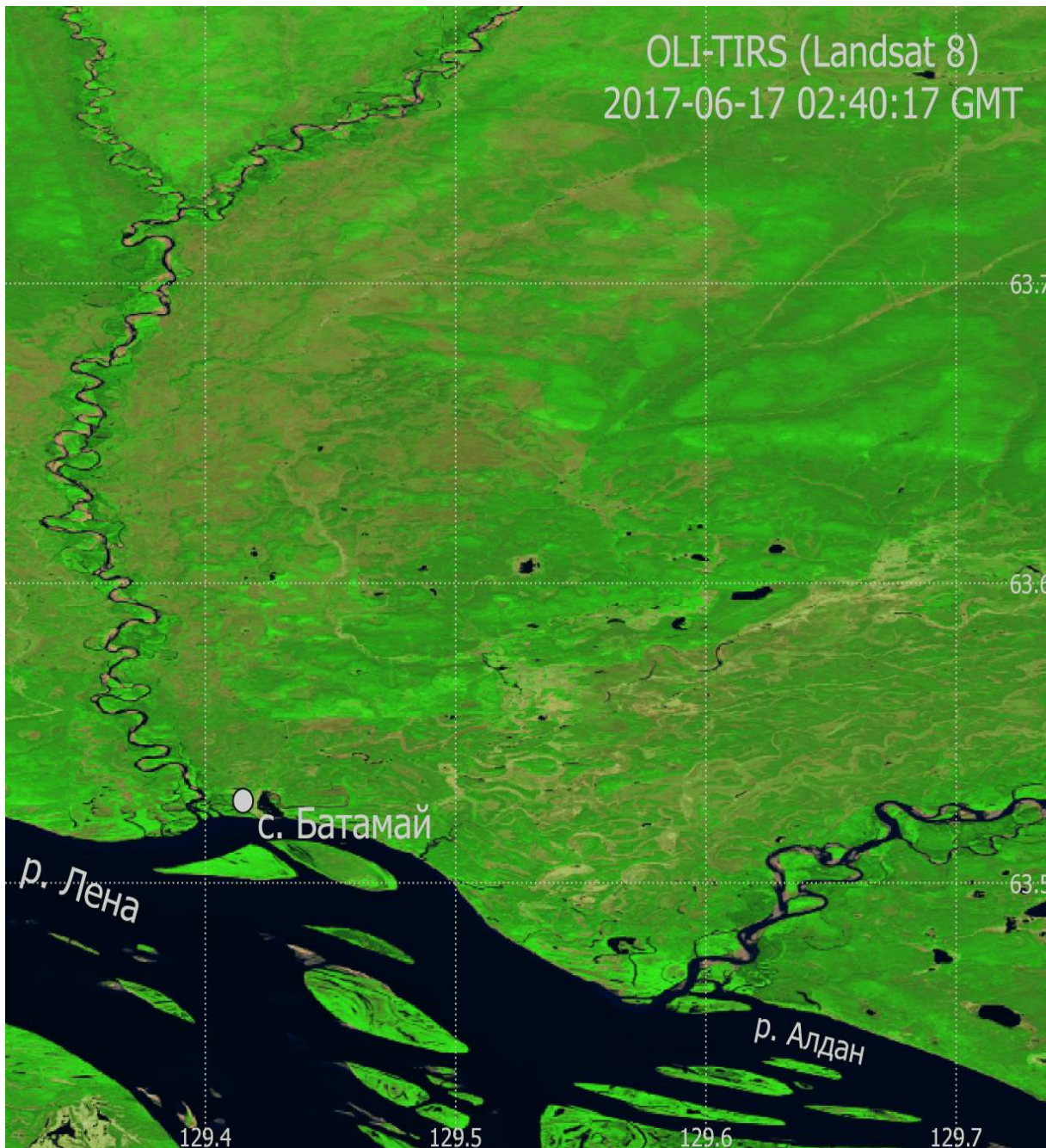


Динамика запаса углерода в лесах на заброшенных с/х землях



Распределение запаса углерода в лесах на заброшенных с/х землях по классу бонитета


—●— заброшенные с/х земли
—●— все леса



Модель развития пожара:

 Прогноз фронта пожара

Данные ДЗЗ

 Пройденная огнем область

 Зоны активного горения

Пожар: к-272

Дальневосточный ФО

Республика Саха

Кобяйский район

Обнаружен:

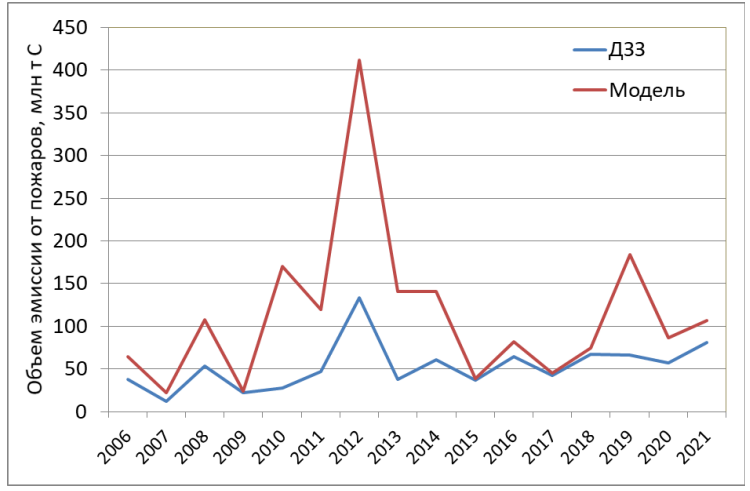
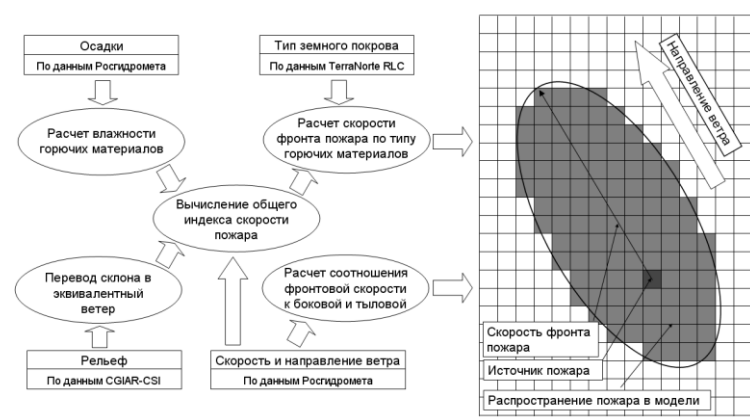
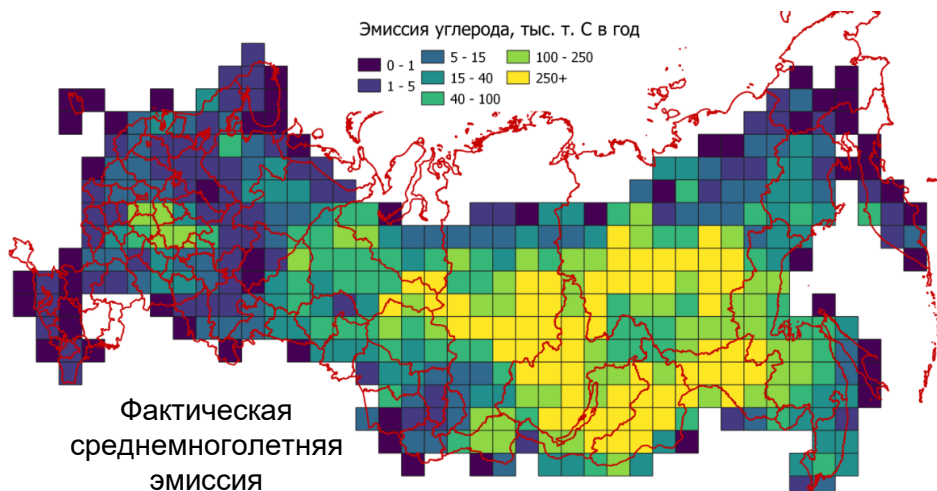
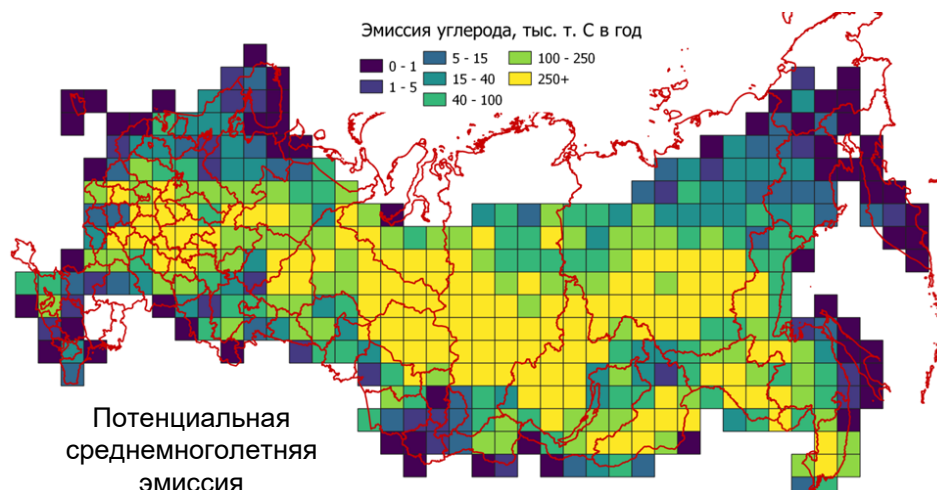
25.06.2017 02:55 GMT

Наблюдался до:

15.08.2017 19:03 GMT

Пройдено огнем: 230776 га

Оценка влияния охраны лесов от пожаров на объемы эмиссий углерода



Потенциальная и фактическая эмиссия углерода от пожаров в лесах



ритм
углерода

Спасибо за внимание !

Работа выполняется 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).