

**Методология комплексного использования
спутниковых данных ДЗЗ, выборочных наземных
наблюдений и моделирования для мониторинга
бюджета углерода в лесах России
(Лекция на Школе молодых ученых)**

Барталев Сергей Александрович
Институт космических исследований РАН

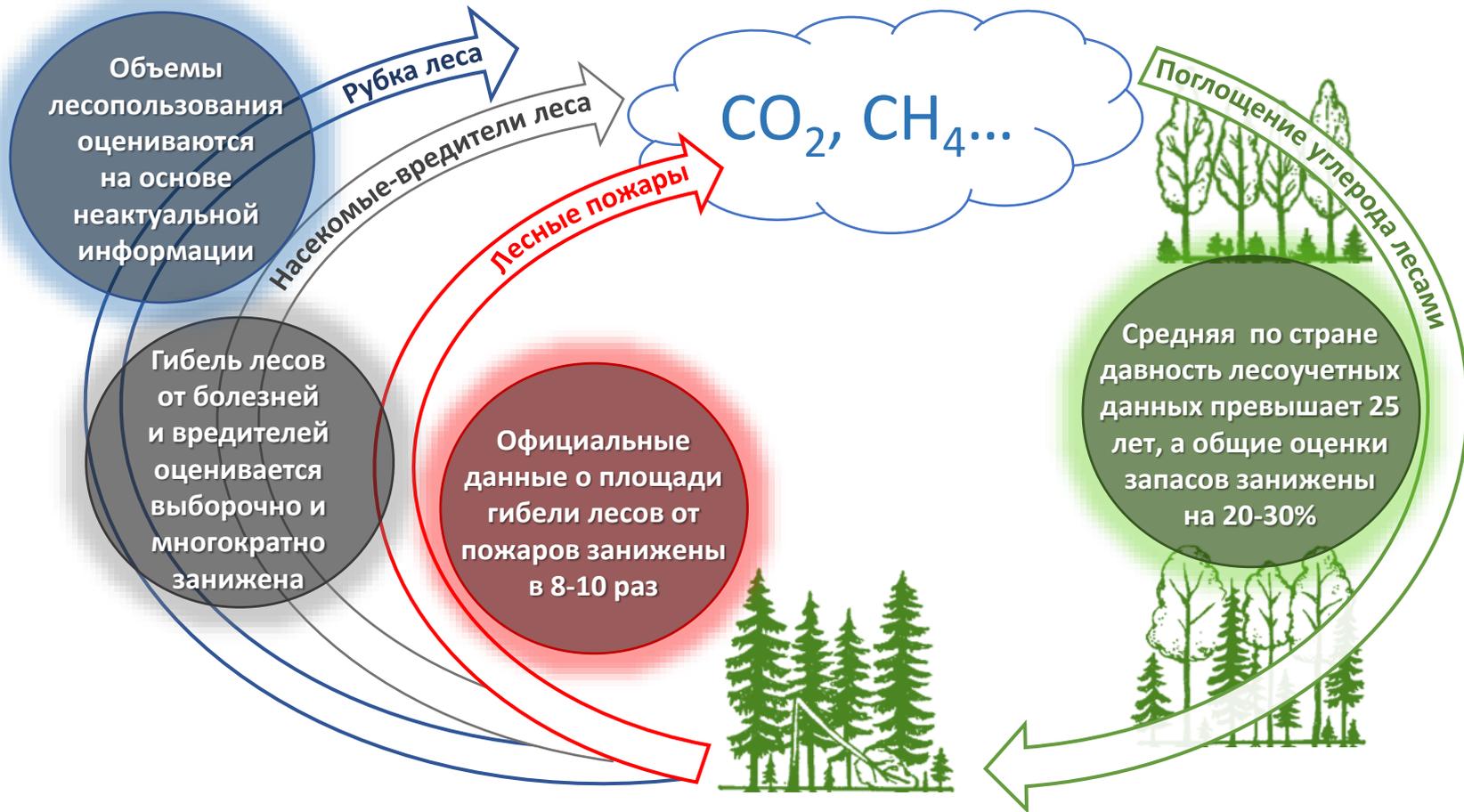


Двадцатая международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», 14 - 18 ноября 2022 г., ИКИ РАН, Москва

Проблема оценки бюджета углерода лесов

- 1) **Леса - основной стабилизирующий элемент климатической системы**, обеспечивающий основной сток CO₂ в наземные экосистемы. Последние исследования показывают (Harris et al, 2021), что в период 2001-2019 гг чистое поглощение CO₂ лесами Мира в среднем составляло 7,6 млрд тонн в год.
- 2) В рамках **Парижского соглашения** Россия взяла на себя обязательства к 2030 году сократить выбросы ПГ до уровня 70-75% от объема выбросов 1990 года **при условии максимального учета поглощающей способности лесов**.
- 3) В настоящее время обсуждаются различные типы лесоклиматических проектов по повышению объемов секвестрования и сокращения эмиссий углерода, в том числе, путем усиления охраны лесов от пожаров, их защиты от вредителей и болезней, лесоразведения на заброшенных с/х землях и др.
- 4) Объективная и достоверная **оценка потенциала лесов по поглощению углекислого газа** требует получения актуальных и надежных данных.

Недостаток информации о лесах России



Мониторинг бюджета углерода в лесах требует регулярно обновляемой информации об их характеристиках и протекающих процессах. Недостаток необходимых данных приводит к 3-4-х кратной неопределенности различных оценок способности лесов России поглощать CO₂.

Потенциал методов ДЗЗ для оценки и мониторинга лесов России

- 1) Современные возможности ДЗЗ из космоса способны обеспечить получение актуальной информации о ресурсно-экологическом потенциале лесов России **с беспрецедентной полнотой охвата** (вся страна) **и регулярностью** (ежегодно).
- 2) Методы и технологии автоматизированной обработки данных ДЗЗ **дают возможность получения информации о:**
 - площади покрытых лесом и безлесных (гари и погибшие насаждения, вырубки, болота) земель
 - запасах, породно-возрастной структуре и бонитете лесов
 - масштабах воздействия на леса деструктивных факторов
 - процессах воспроизводства лесов
- 3) Интеграция получаемой методами ДЗЗ информации с моделями динамики лесов открывает возможности **мониторинга и прогнозирования основных компонентов их бюджета углерода** на принципиально новом уровне полноты и достоверности

Проведение исследований на базе
Лабораторий мирового уровня при поддержке
Российского Научного Фонда



КОСМИЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСОВ РОССИИ

Проект: «Разработка методов и технологии комплексного использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для развития системы национального мониторинга бюджета углерода лесов России в условиях глобальных изменений климата» (2019–2022 годы)

Концепция мониторинга лесов России

Ежегодные карты:	
• Категории земель	• Полнота
• Породы	• Средняя высота
• Запас	• Бонитет
• Сомкнутость	• Возраст
	• Повреждения лесов



Интеграция данных и моделей для мониторинга углерода в лесах

Наземные измерения

Эколого-климатические станции:

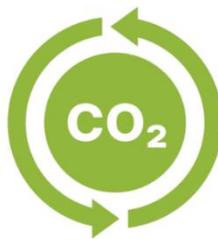
- измерение потоков парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2O);
- метеорологические наблюдения.



Сеть пробных площадей:

- видовой состав растительности;
- продуктивность;
- параметры горизонтальной и вертикальной структуры;
- характеристики почв;
- характеристики напочвенного покрова.

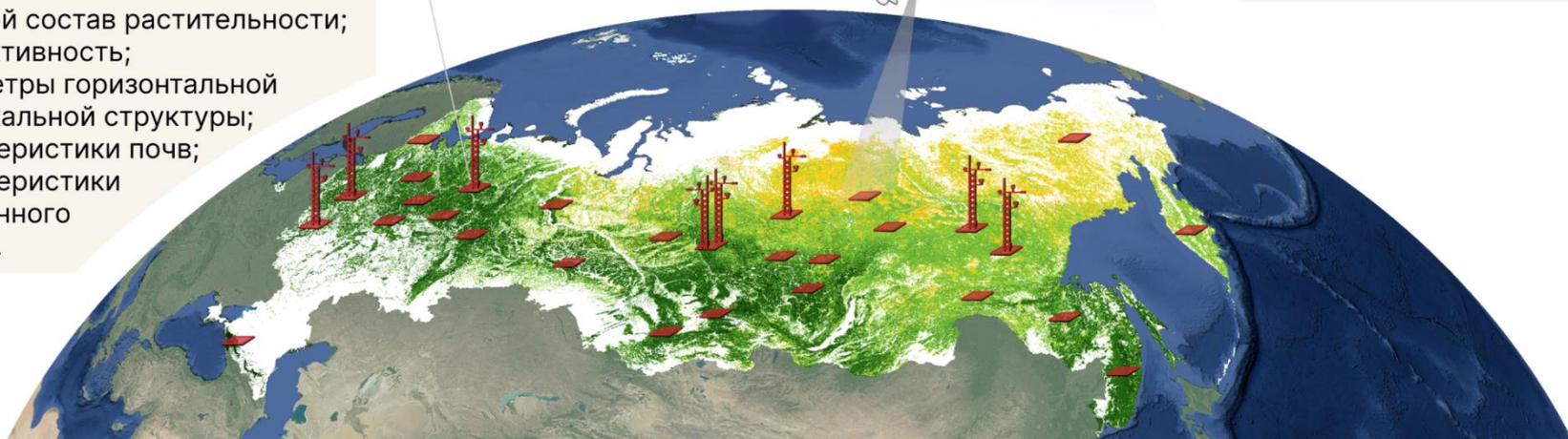
Моделирование



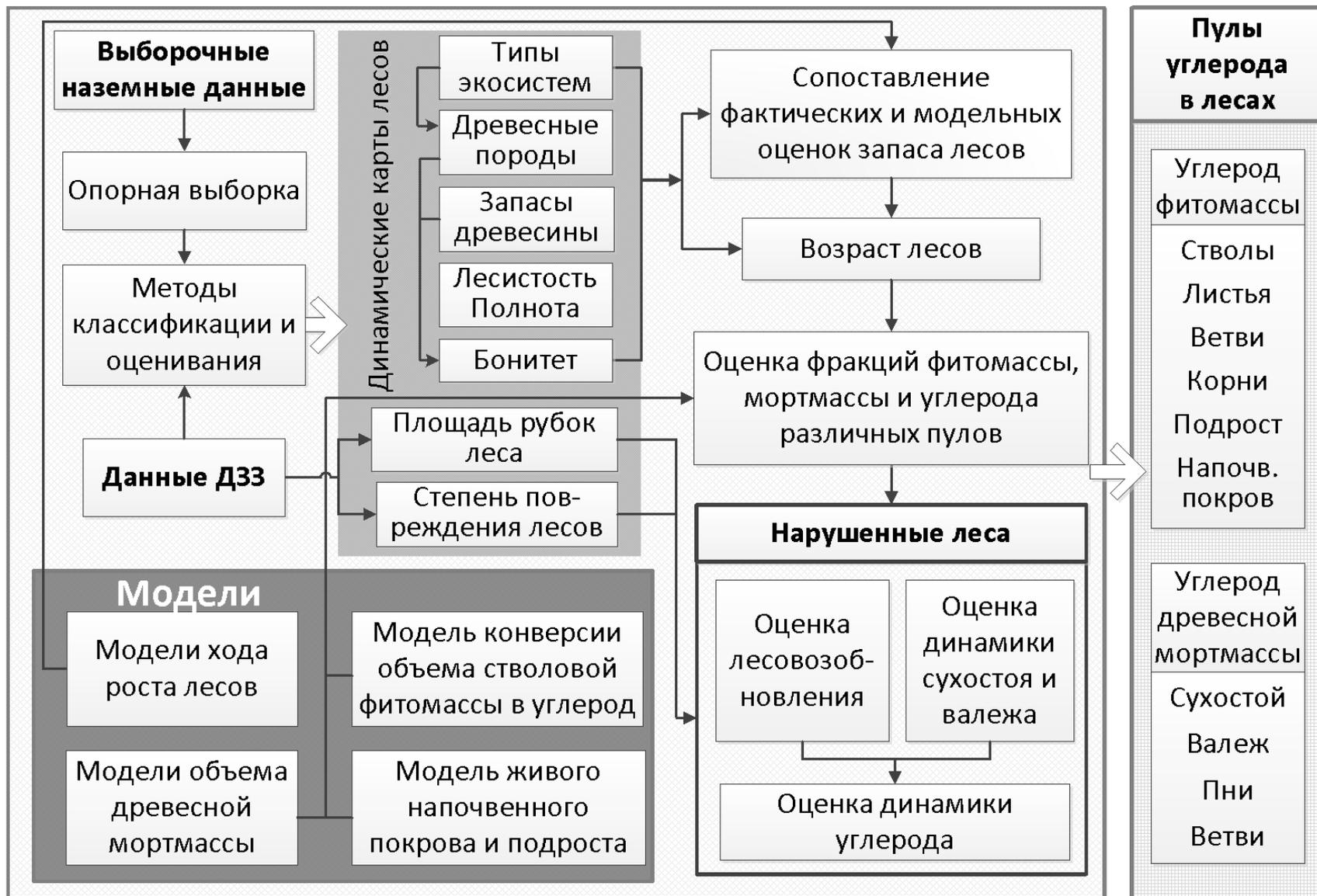
Дистанционное зондирование

Дистанционный мониторинг наземных экосистем с космических спутников и БПЛА:

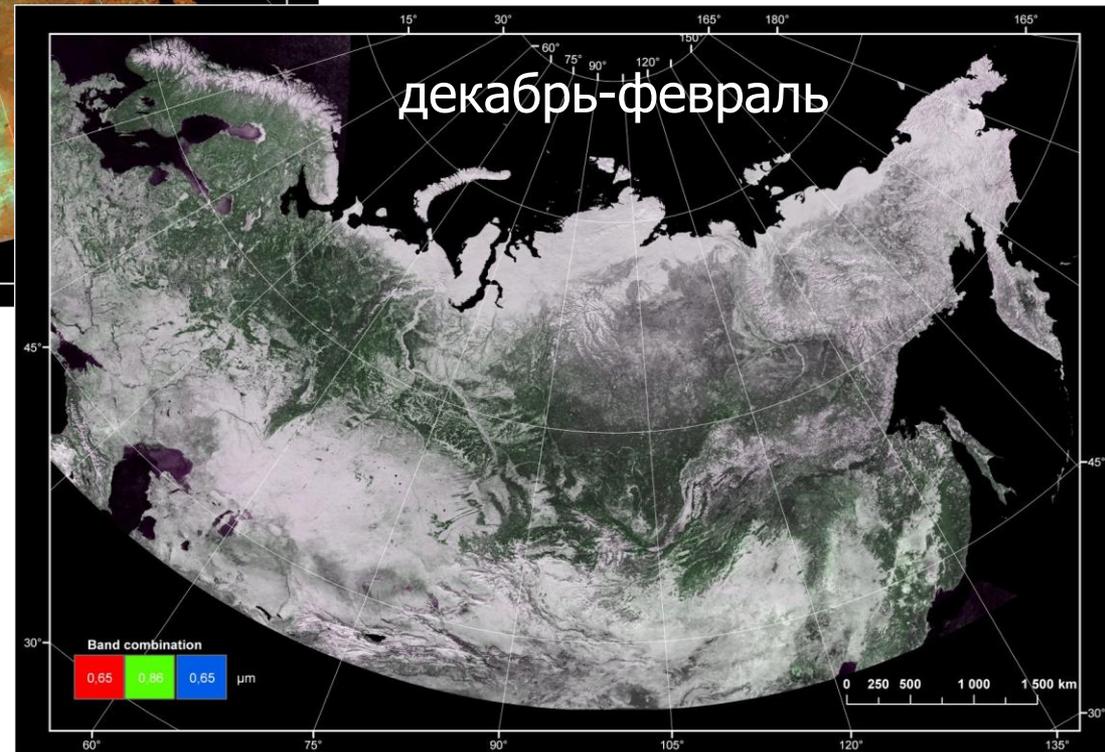
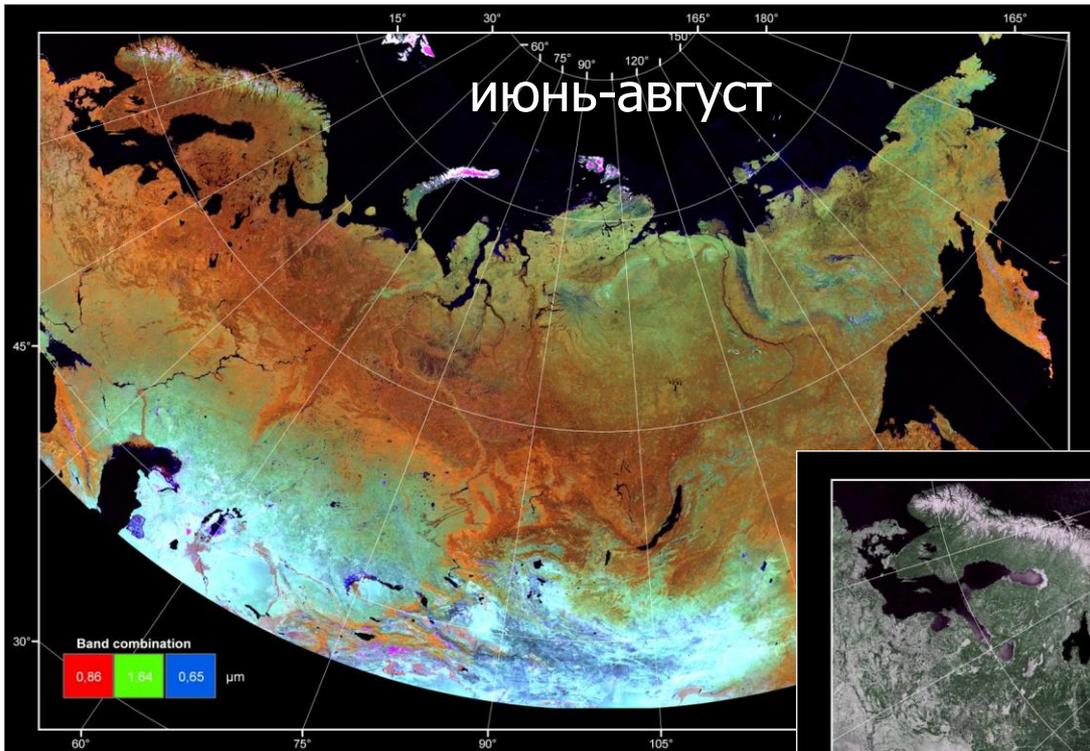
- динамическое картографирование типов наземных экосистем;
- мониторинг динамики характеристик растительного покрова;
- оценка воздействия негативных факторов;
- динамическое картографирование запасов углерода в наземных экосистемах.



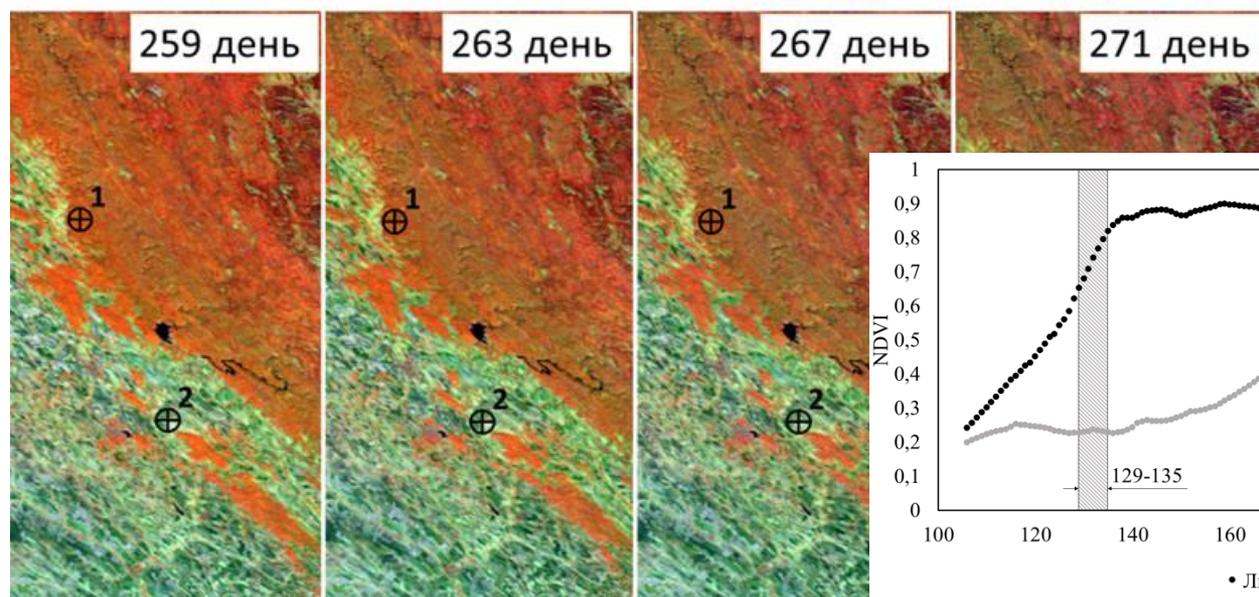
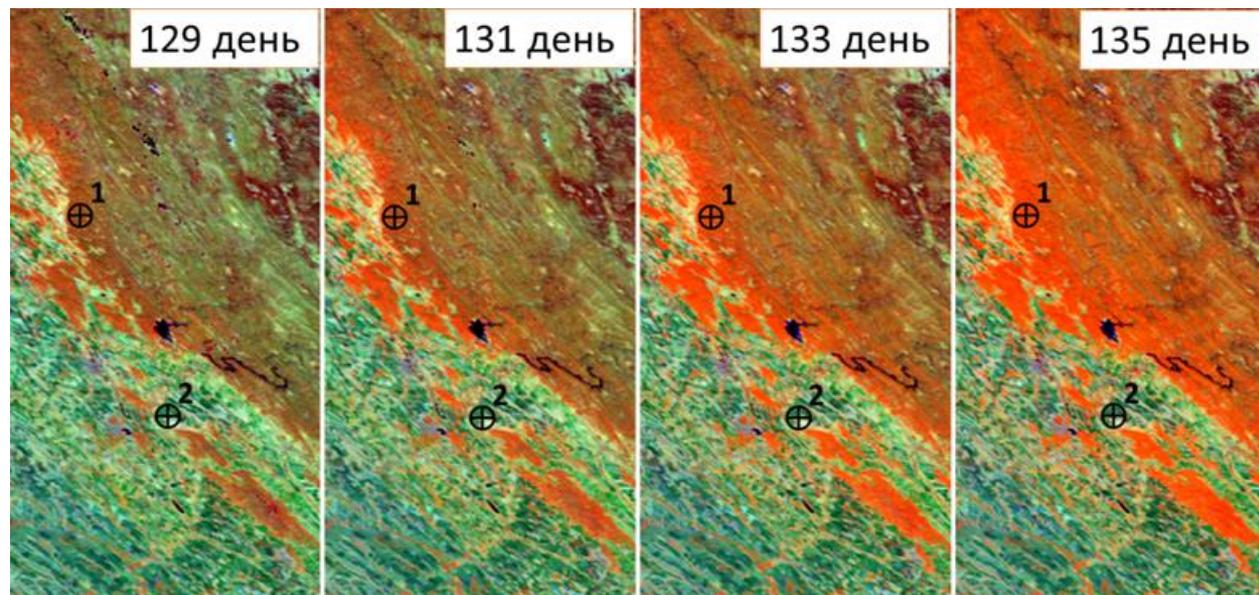
Концепция дистанционного мониторинга бюджета углерода лесов



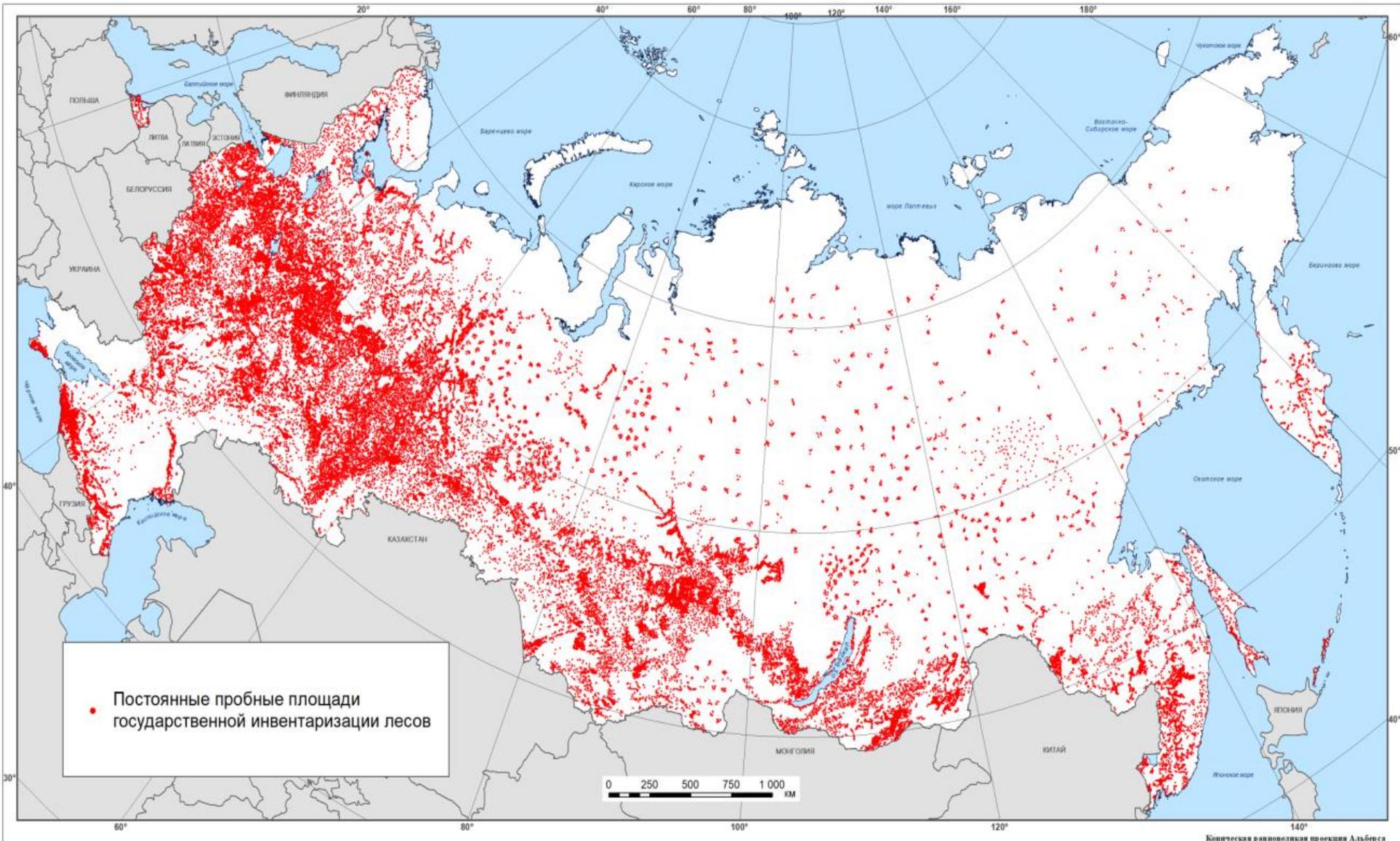
Примеры безоблачных композитных изображений по данным MODIS



Восстановленные ежедневные ряды безоблачных данных MODIS



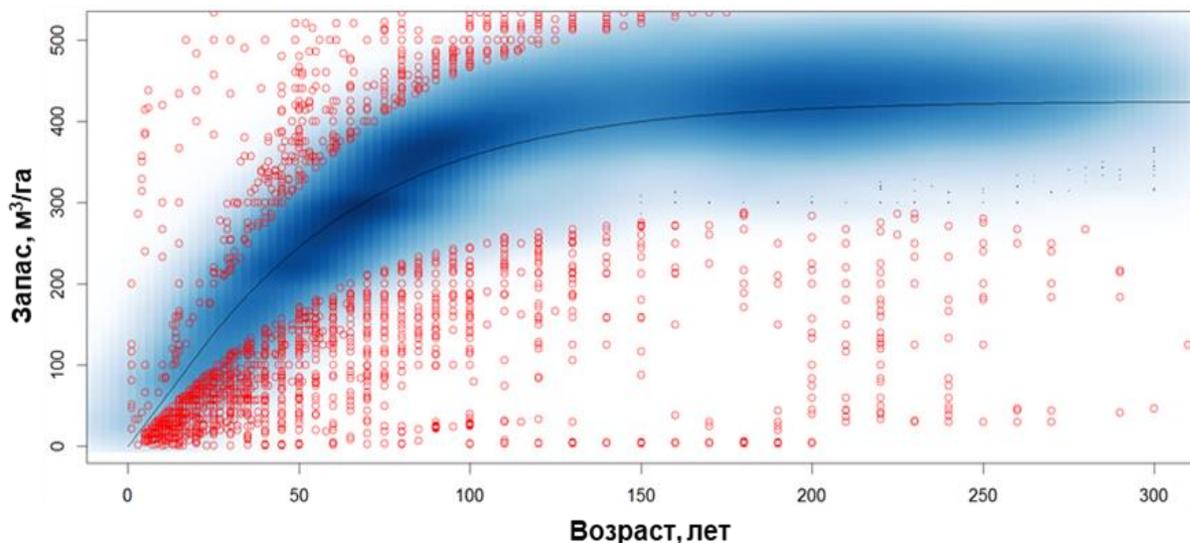
Размещение пробных площадей ГИЛ (по данным ФГБУ «Рослесинфорг»)



Территория с наличием повыдельных данных о лесах (ФГБУ «Рослесинфорг»)

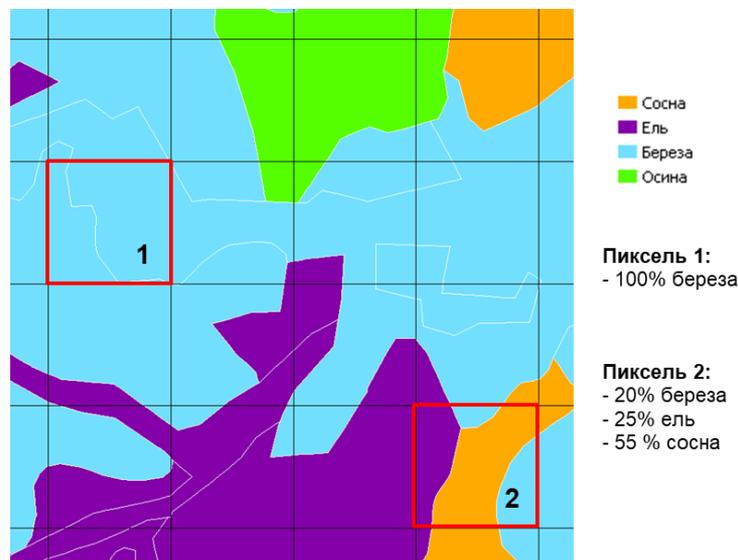


Подготовка опорных данных для обучения алгоритмов и верификации результатов



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

Иллюстрация оценки доли различных преобладающих пород в пикселях данных среднего пространственного разрешения на основе растеризованных с высоким разрешением повыдельных материалов АЦО; черным обозначены границы пикселей среднего разрешения, белым – границы выделов



ТИПЫ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ



Коническая равноугольная проекция Альберта

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ТИПЫ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ:

- | | | | |
|--|--|--|---|
| <p>ЛЕСА:</p> <ul style="list-style-type: none"> Темнохвойные вечнозеленые Светлохвойные вечнозеленые Лиственные Смешанные с преобладанием хвойных Смешанные Смешанные с преобладанием лиственных Хвойные листопадные (лиственничные) Редины хвойные листопадные | <p>ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:</p> <ul style="list-style-type: none"> Луга Степи Хвойные вечнозеленые кустарники Лиственные кустарники <p>ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ:</p> <ul style="list-style-type: none"> Болота Прибрежная растительность | <p>ТУНДРА:</p> <ul style="list-style-type: none"> Кустарничковая Осоковая Кустарниковая <p>ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ:</p> <ul style="list-style-type: none"> Гари Пахотные земли | <p>НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ:</p> <ul style="list-style-type: none"> Открытые грунты и выходы горных пород Водные объекты Урбанизированные территории Вечные снега и льды |
|--|--|--|---|

ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ



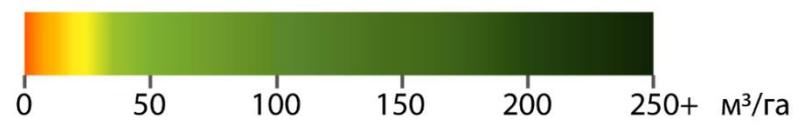
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРЕОБЛАДАЮЩИЕ ПОРОДЫ ЛЕСОВ:

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

ЗАПАС СЫРОРАСТУЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ



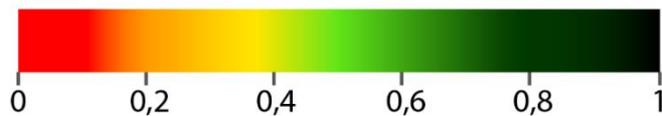
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС СЫРОРАСТУЩЕЙ ДРЕВЕСИНЫ:



ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОЛНОТА ЛЕСОВ:



КЛАССЫ БОНИТЕТА ЛЕСОВ



Коническая равноугольная проекция Альберса

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КЛАССЫ БОНИТЕТА ЛЕСОВ:

■ Ia, Ib

■ II

■ IV

■ Va

■ I

■ III

■ V

■ Vb

КЛАССЫ ВОЗРАСТА ЛЕСОВ



Коническая равноугольная проекция Альберса

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ КЛАССЫ ВОЗРАСТА ЛЕСОВ:



Молодняки I класса



Средневозрастные



Спелые



Молодняки II класса

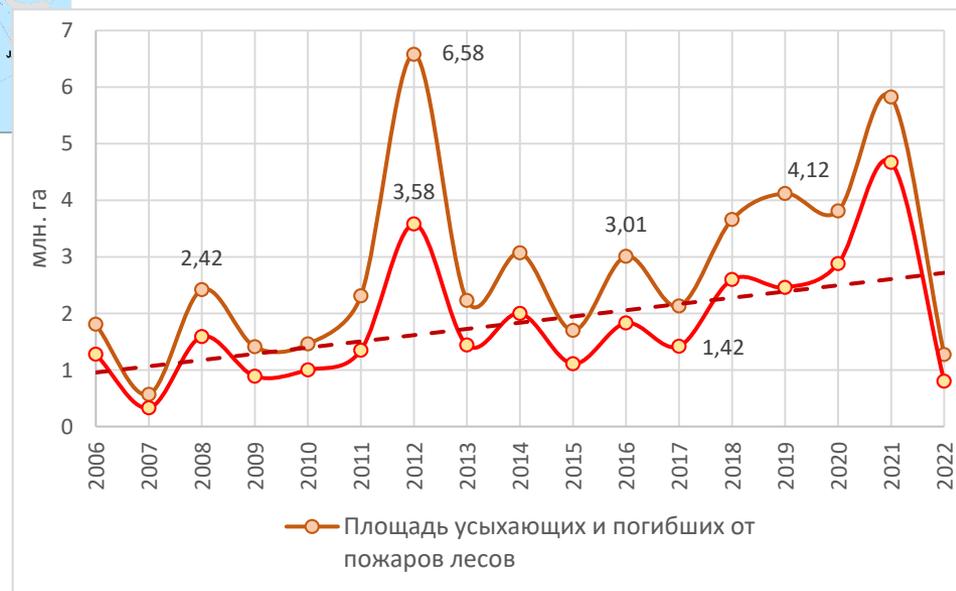
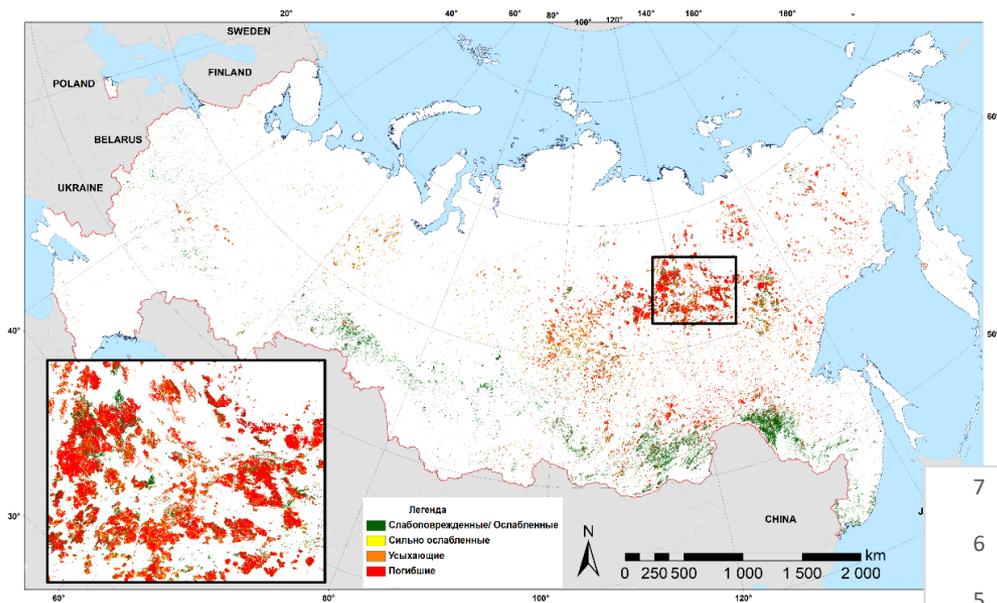


Приспевающие



Перестойные

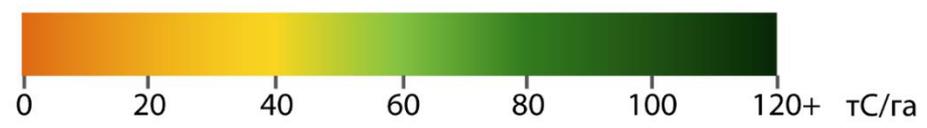
Оценка погибших и поврежденных пожарами лесов на основе данных ДЗЗ



ЗАПАС УГЛЕРОДА В ЛЕСАХ РОССИИ



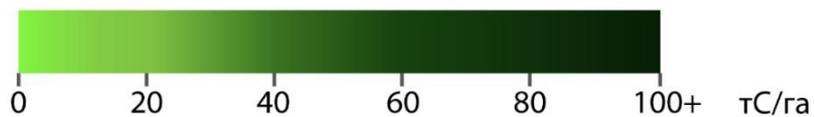
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС УГЛЕРОДА:



ЗАПАС УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ



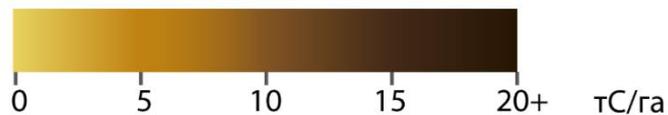
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ ЛЕСОВ:



ЗАПАС УГЛЕРОДА В МОРТМАССЕ ЛЕСОВ



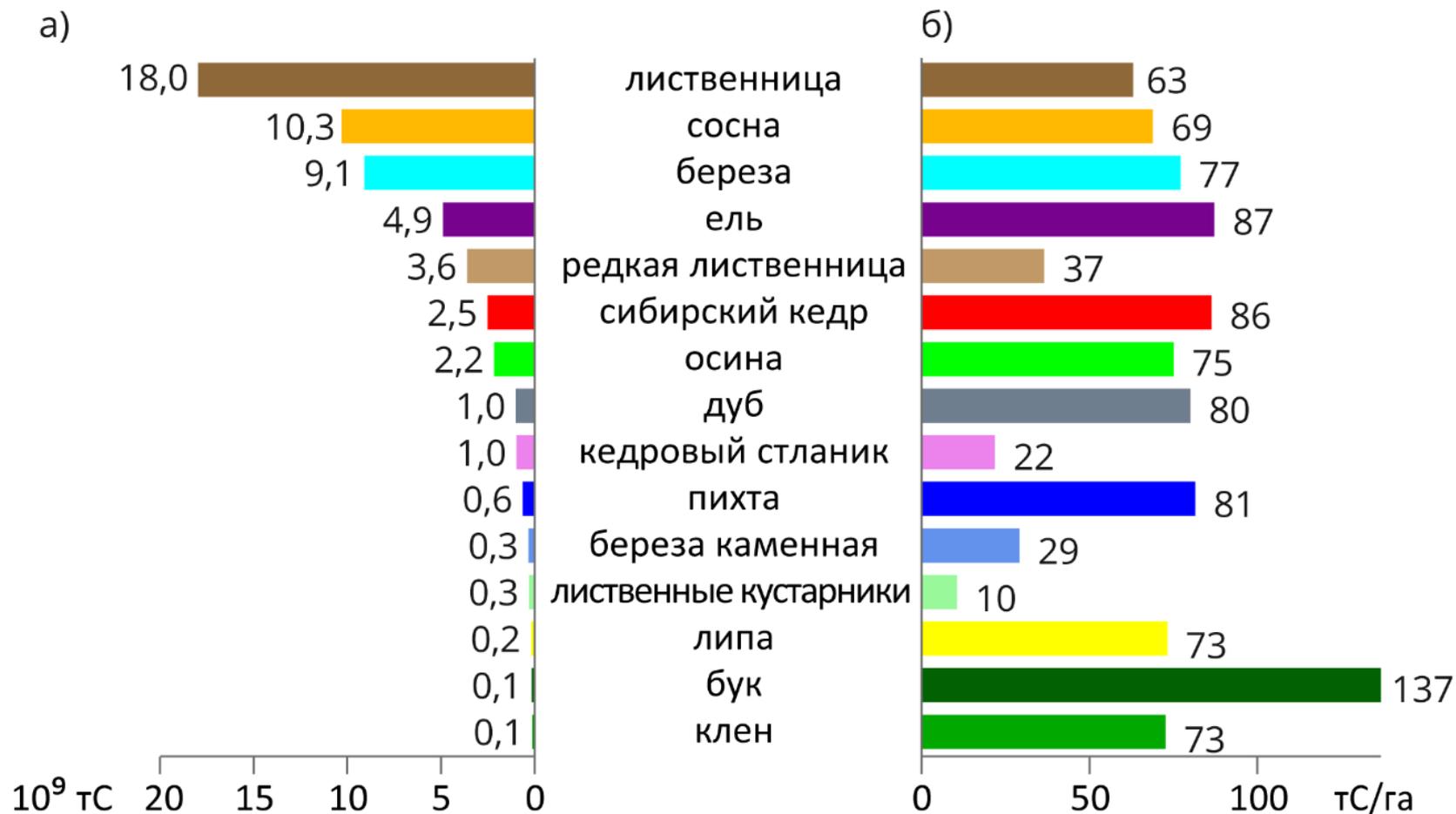
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
УДЕЛЬНЫЙ ЗАПАС УГЛЕРОДА В МОРТМАССЕ ЛЕСОВ:



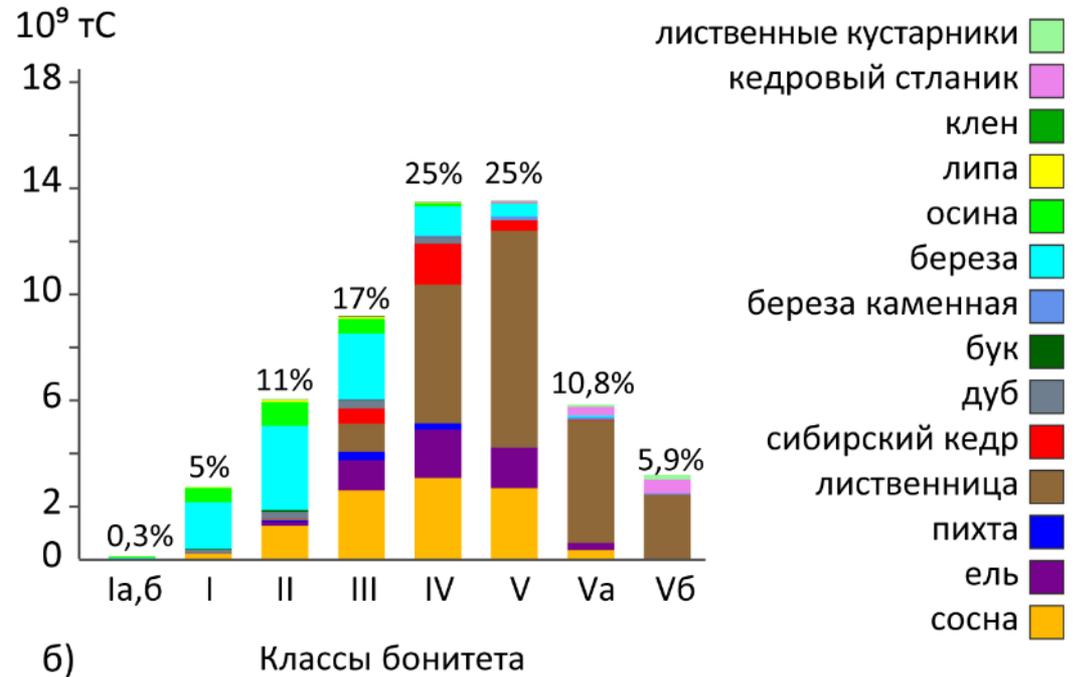
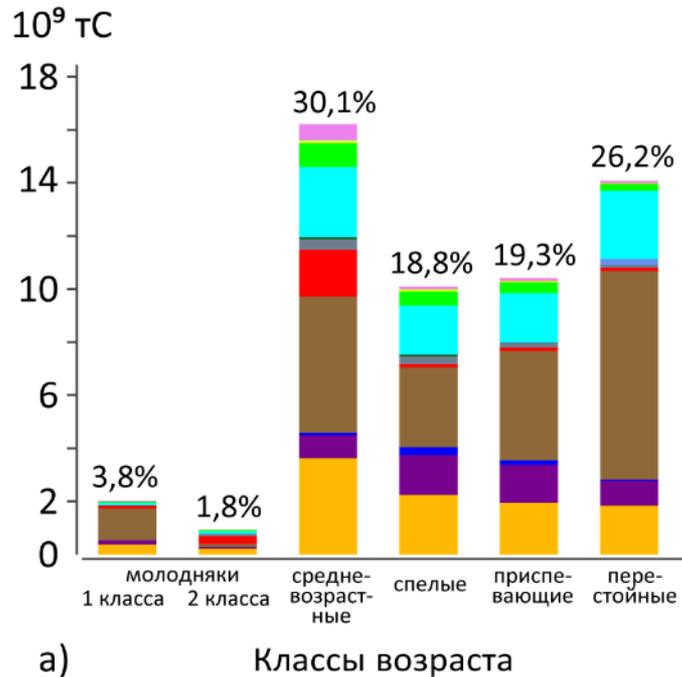
Запасы углерода в растительной биомассе лесов России



Запасы углерода в лесах различных преобладающих пород на 2021 год

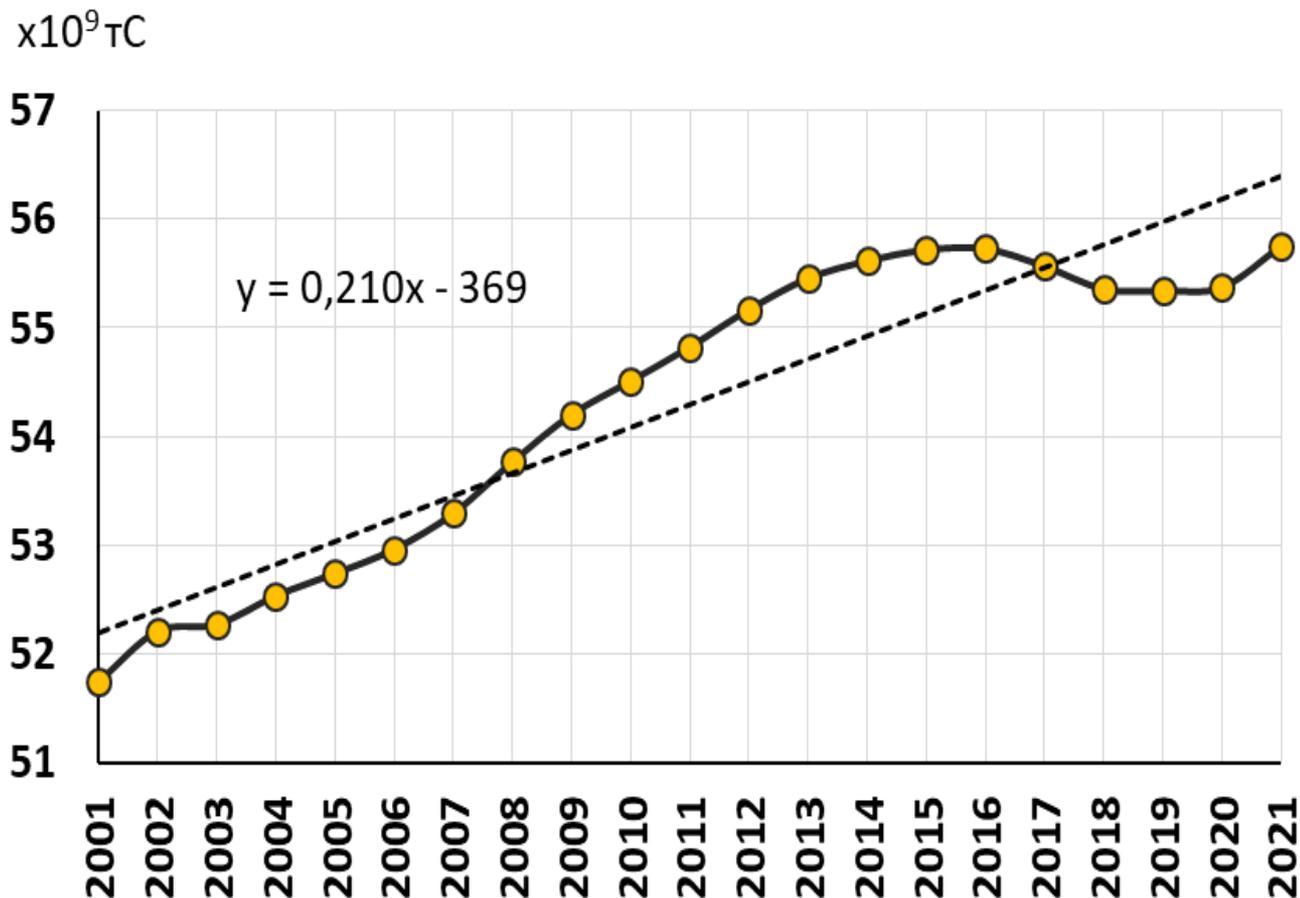


Запасы углерода лесов различных преобладающих пород по классам возраста и бонитета на 2021 год



- лиственные кустарники
- кедровый стланик
- клен
- липа
- осина
- береза
- береза каменная
- бук
- дуб
- сибирский кедр
- лиственница
- пихта
- ель
- сосна

Динамика запасов углерода в растительной биомассе лесов России



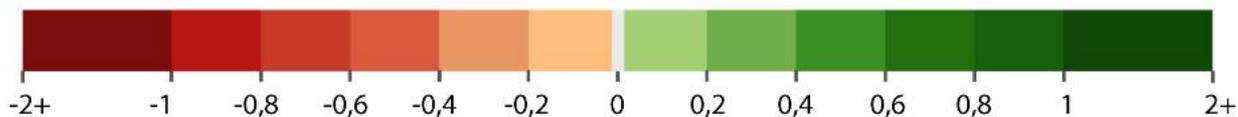
ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА



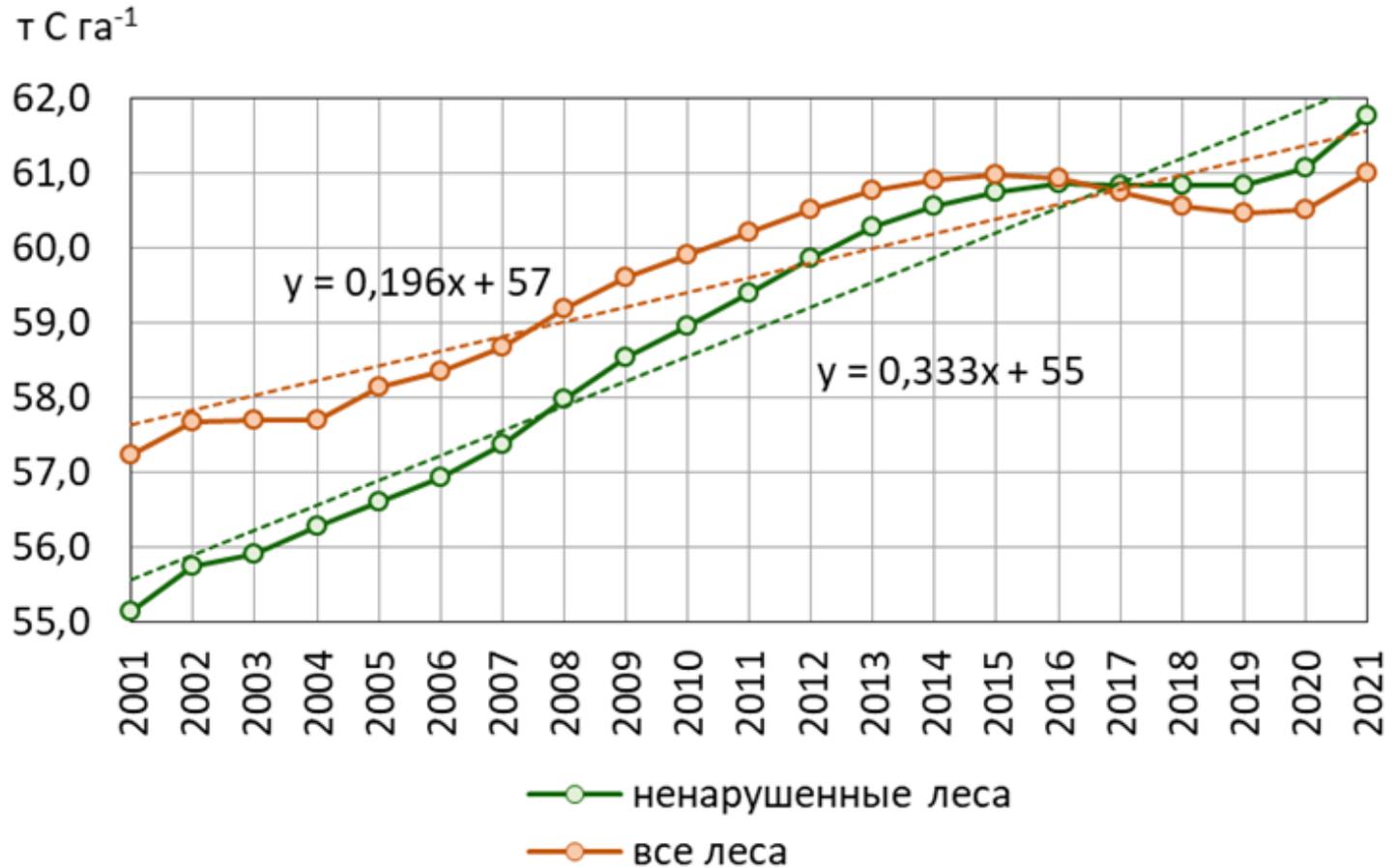
Копическая равноугольная проекция Альберса

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

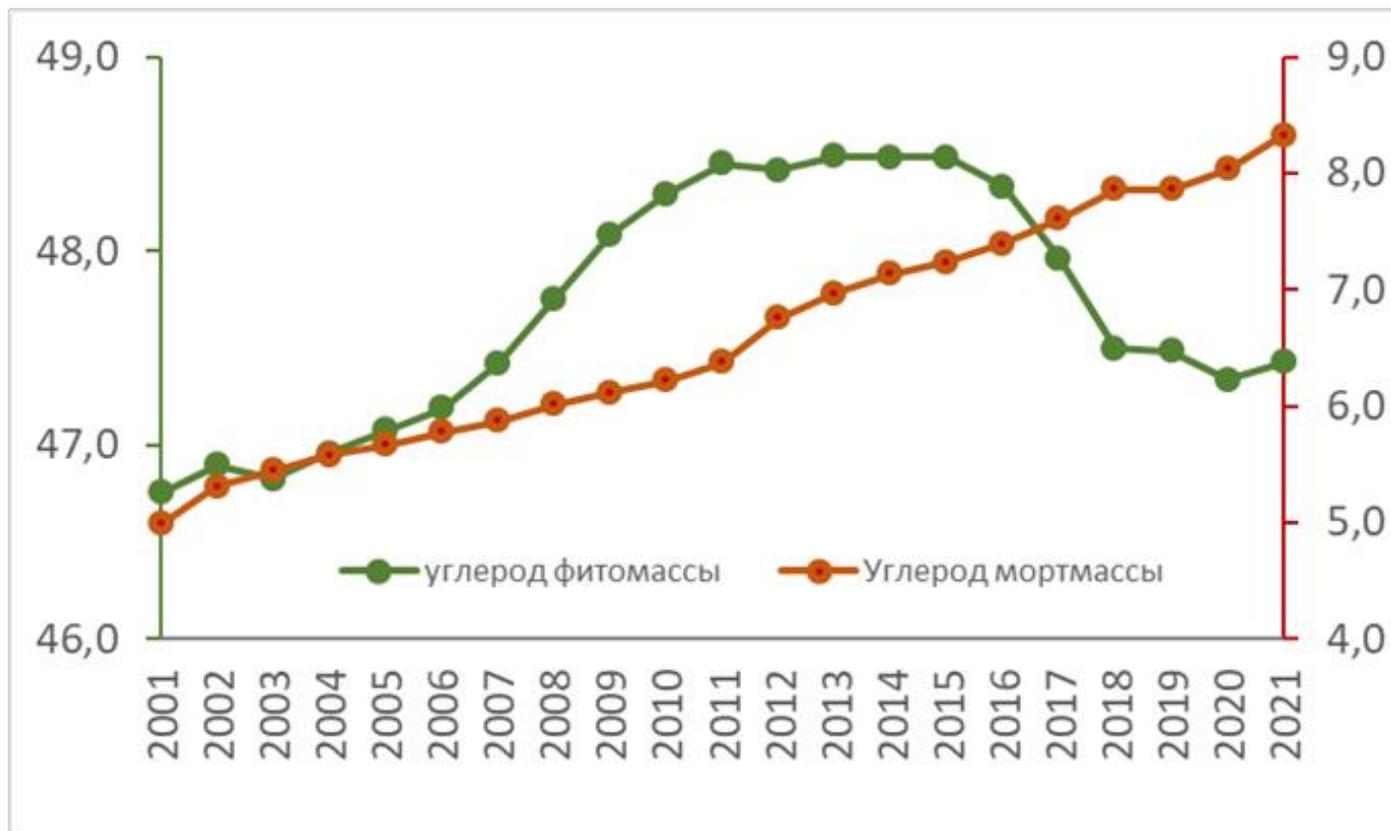
СРЕДНЕГОДОВОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА УГЛЕРОДА, тС/га:



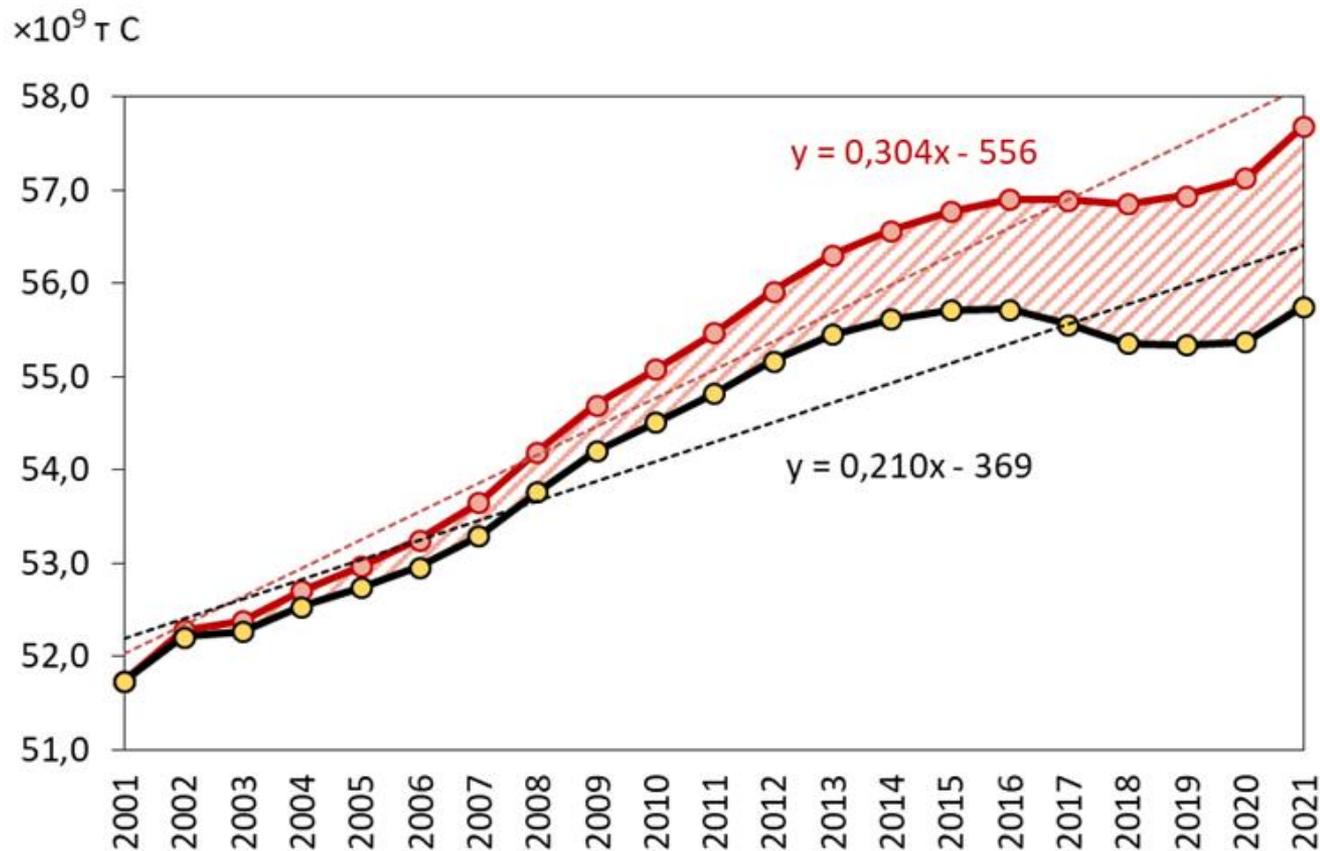
Динамика запасов углерода в биомассе нарушенных лесов России



Динамика запасов углерода в фитомассе и мортмассе лесов России



Динамика фактического и потенциального запаса углерода лесов России

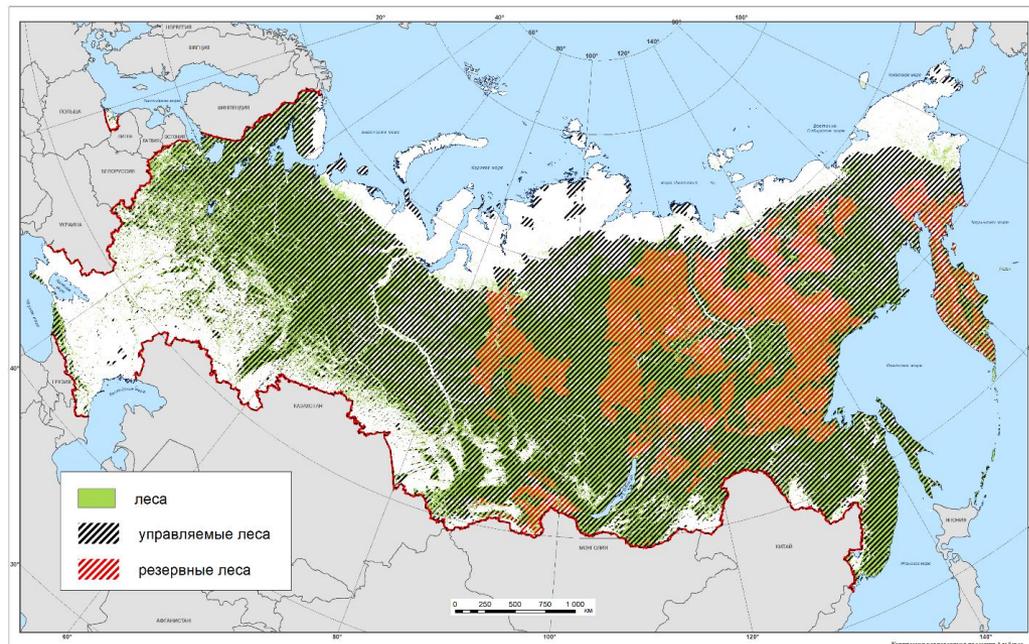


/// Разница между потенциальным и фактическим запасом углерода

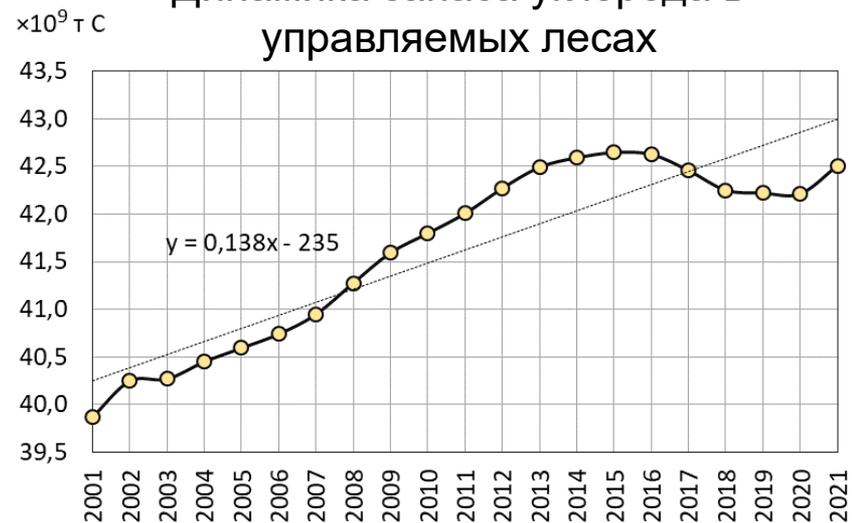
—●— потенциальный запас углерода

—●— фактический запас углерода

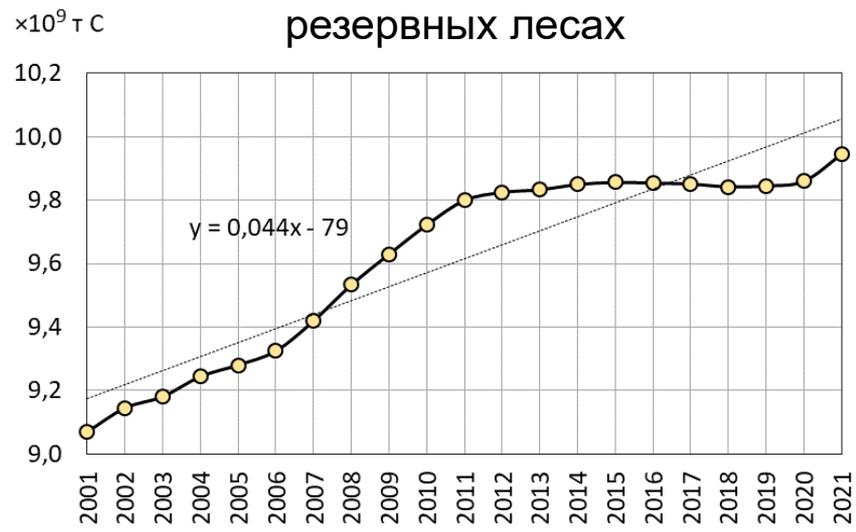
Динамика запаса углерода в управляемых и резервных лесах



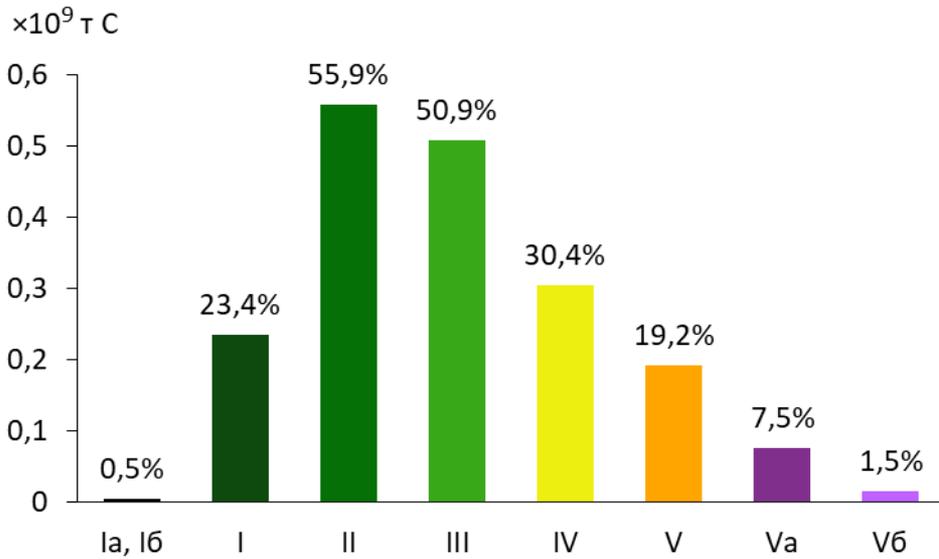
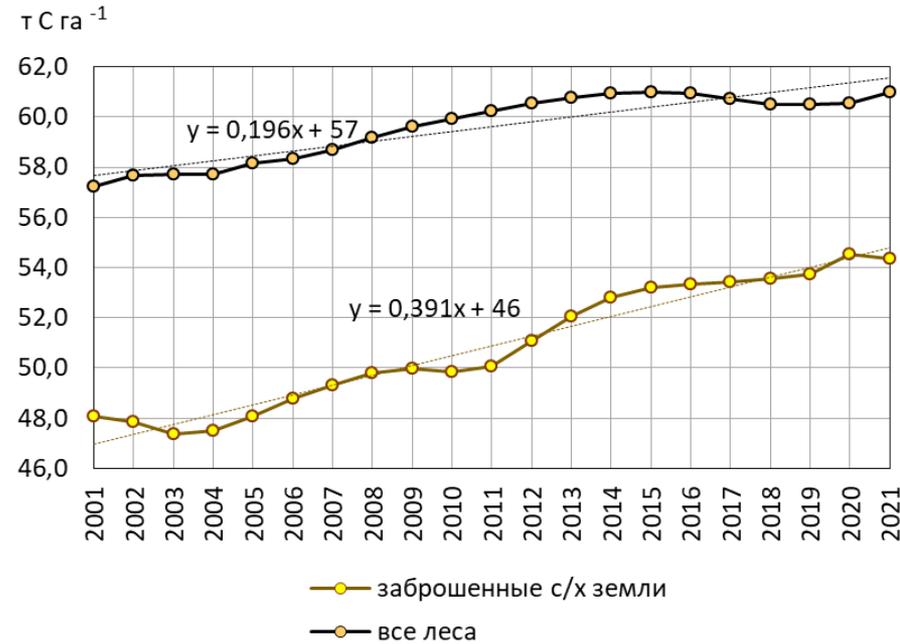
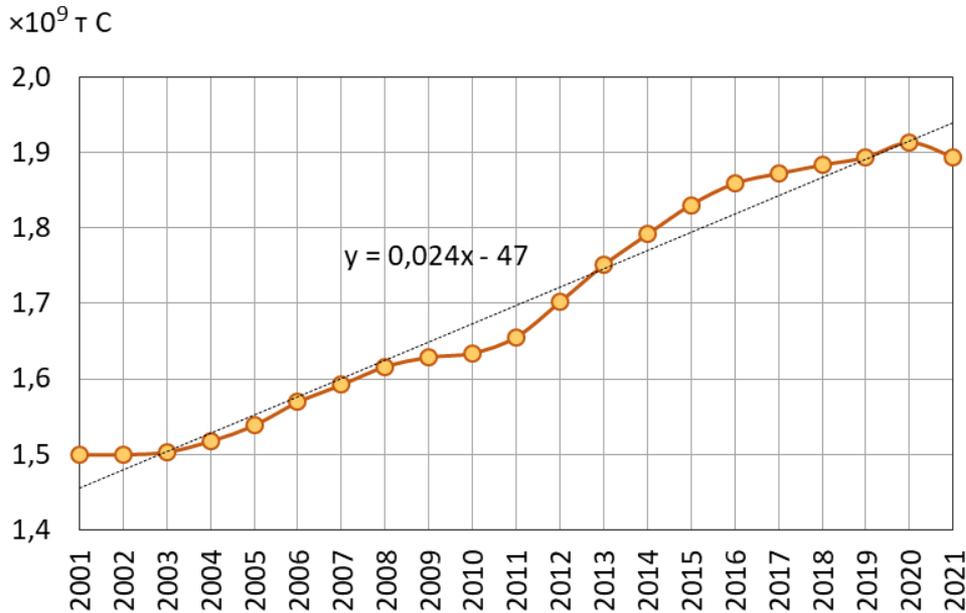
Динамика запаса углерода в управляемых лесах



Динамика запаса углерода в резервных лесах



Динамика запаса углерода в лесах на заброшенных с/х землях



Распределение запаса углерода в лесах на заброшенных сельскохозяйственных землях по классу бонитета

Спасибо за внимание !



Школа молодых ученых организована при поддержке
Российского научного фонда (проект № 19-77-30015)