



Комплексное использование данных ДЗЗ из космоса и наземных измерений как основа национальной системы мониторинга бюджета углерода в лесах России

Барталев С.А., Лукина Н.В.

Институт космических исследований РАН

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

XIX Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
15 ноября 2021 года, Москва, ИКИ РАН

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 принятой «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» значительная роль отведена лесам. В рамках интенсивного сценария предполагается повышение поглощающей способности управляемых лесов до 1200 млн. тонн эквивалента CO₂.**
- 4) **В числе приоритетных направлений исследований и разработок активно обсуждается создание национальной системы мониторинга углерода лесов (НС МУЛ), способной обеспечить получение актуальных и надежных данных о потоках парниковых газов и бюджете углерода.**

Задачи национального мониторинга углерода в лесах

- 1) Научно-информационная поддержка участия Российской Федерации в международных соглашениях по климату
- 2) Подготовка аналитической информации и официальных отчетов для пользователей различных уровней:
 - Международные соглашения (IPCC, Парижское соглашение, ФАО ООН)
 - Национальные оценочные доклады и др.
 - Отдельные ведомства (Рослесхоз, Минсельхоз и др.)
 - Отдельные регионы
 - Организации (промышленные компании)
- 3) Информационное обеспечение научных исследований и разработок, в том числе:
 - Фундаментальных исследований углеродного цикла
 - Развитие методов инвентаризации и мониторинга углерода в лесах, других экосистемах и средах

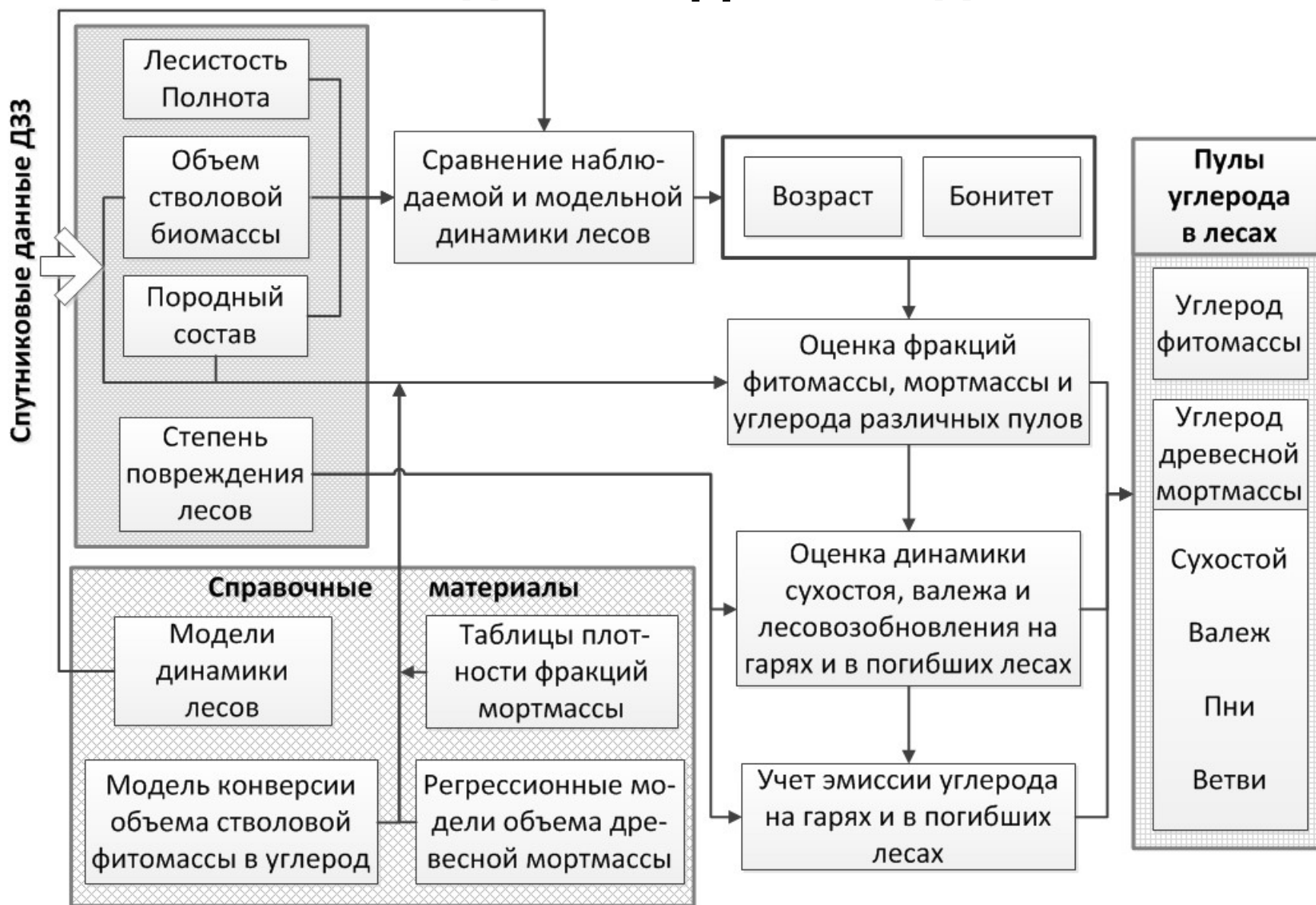
Ключевые требования к национальной системе мониторинга углерода в лесах

- 1) Полный охват территории страны вне зависимости от ведомственной принадлежности земель (земли лесного фонда, с/х назначения и других ведомств);**
- 2) Полный учет древесной растительности, в том числе, выходящей за рамки национального определения леса (пороговые значения по полноте, высоте, минимальной площади элементарного учетного участка и др.);**
- 3) Получение регулярно (ежегодно) обновляемой информации о параметрах бюджета углерода лесов;**
- 4) Преимущество по отношению к ведомственной информации о характеристиках и состоянии лесов (государственный лесной реестр, государственная инвентаризации лесов, лесоустройство, лесопатологические обследования, мониторинг пожаров);**
- 5) Наличие механизмов независимой кросс-верификации используемых данных о лесах из различных источников (данные наземных наблюдений, данные ДЗЗ, модели) и получаемых оценок потоков парниковых газов и бюджета углерода;**

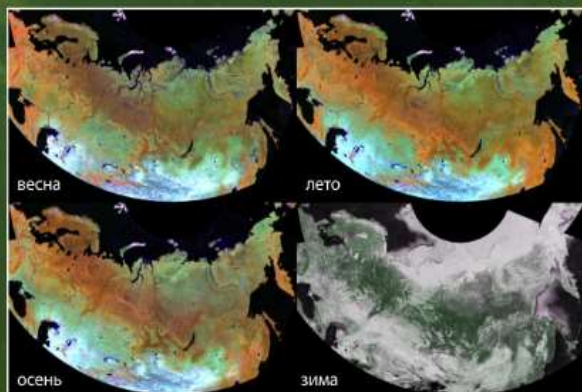
Функциональная структура национальной системы мониторинга углерода в лесах

- 1) Сбор и обработка данных для оценки характеристик и динамики лесных экосистем, параметров бюджета углерода**
- 2) Анализ многолетних временных данных о запасах и потоках углерода в лесах в зависимости от воздействия различных природных и антропогенных факторов, выявление и интерпретация аномальных отклонений и трендов динамики бюджета углерода лесов**
- 3) Ретроспективное сценарное моделирование различных стратегий управления лесами с оценкой влияния на параметры бюджета углерода**
- 4) Прогнозное моделирование динамики лесных экосистем и их бюджета углерода при различных сценариях климатических изменений**

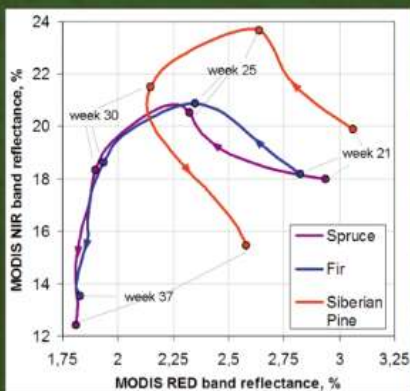
Методология оценки бюджета углерода в лесах на основе данных ДЗЗ и моделей



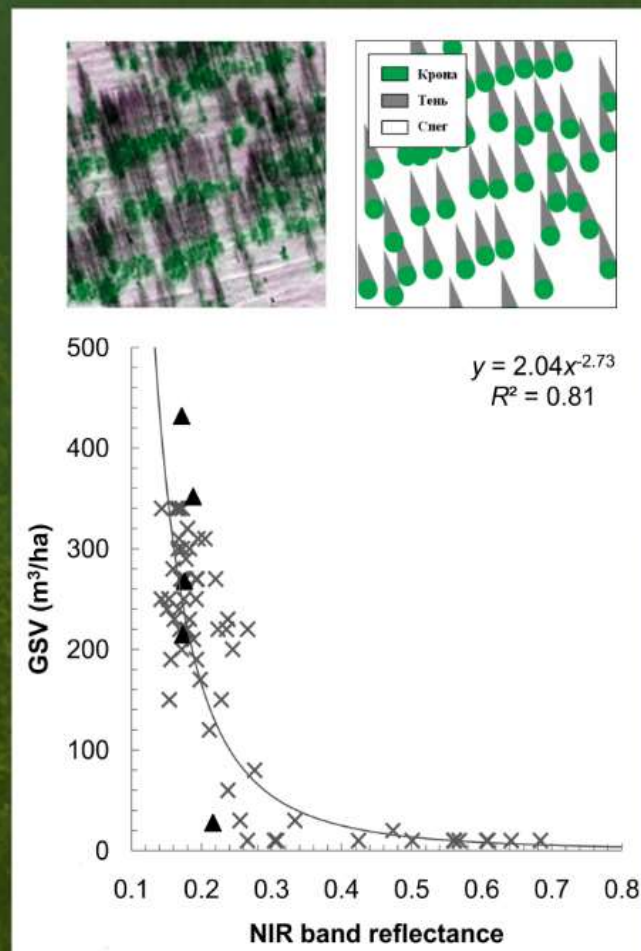
МЕТОДЫ СПУТНИКОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛЕСОВ



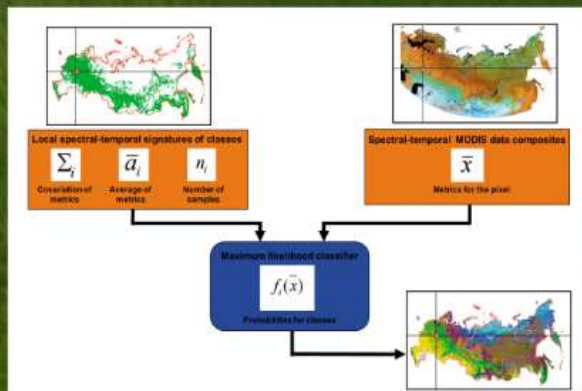
многолетние временные ряды очищенных от влияния облаков разносезонных композитных изображений



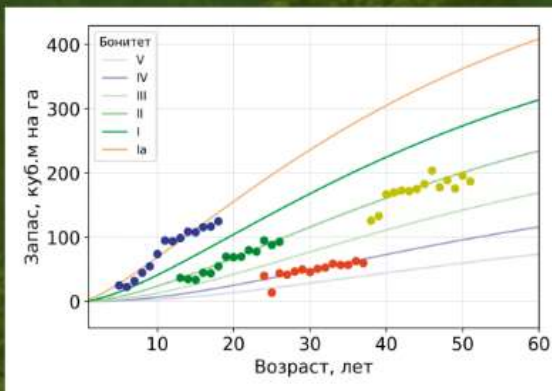
распознавание древесных пород лесов по их спектрально-временным признакам



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



алгоритмы локально-адаптивной классификации и оценивания характеристик земного покрова

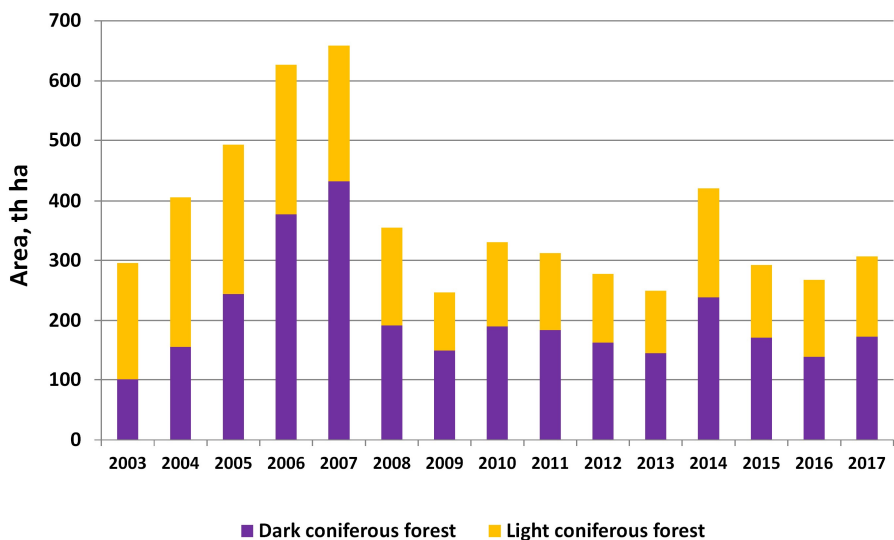
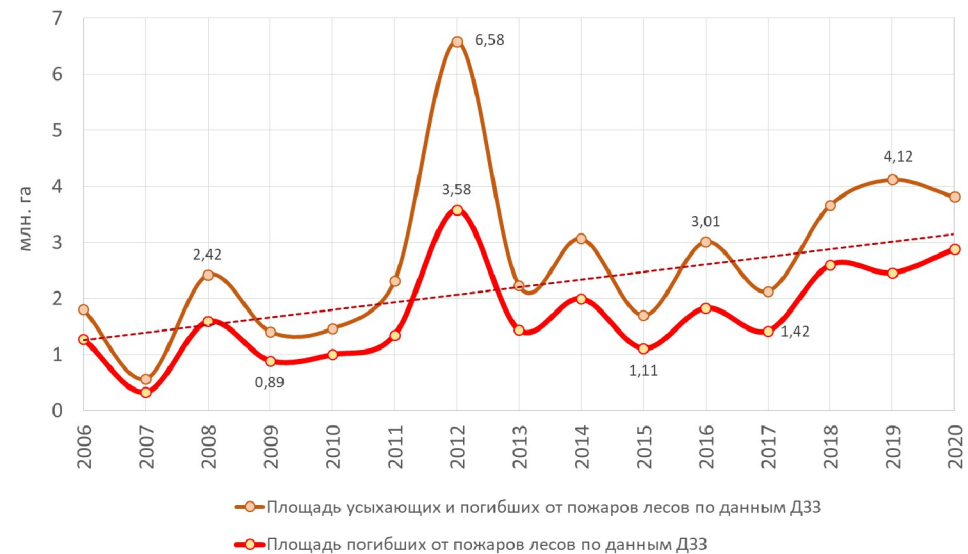


определение бонитета и возраста лесов с на основе моделей их динамики и ежегодных измерений запаса по данным ДЗЗ

ЕЖЕГОДНО ОБНОВЛЯЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЛЕСОВ



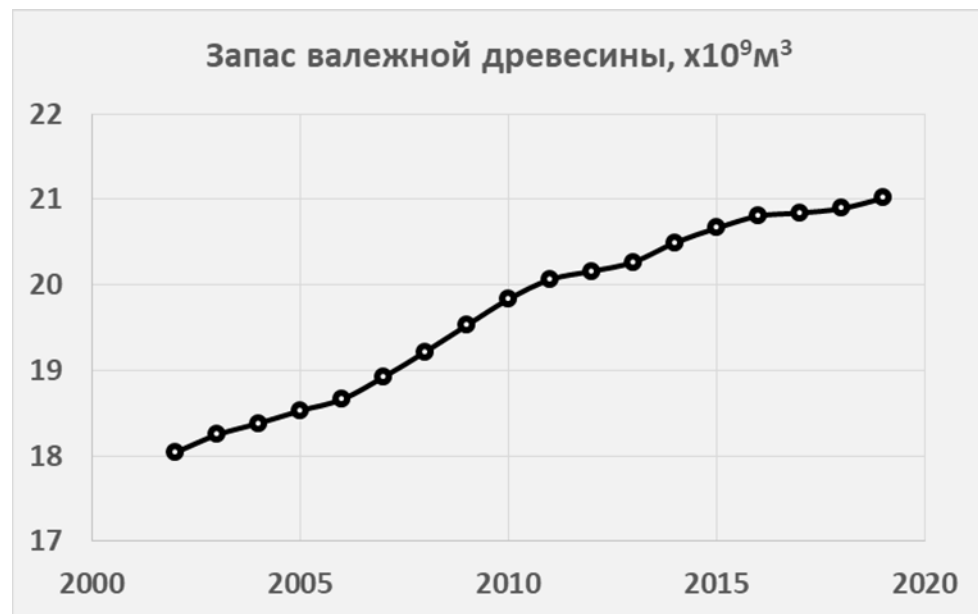
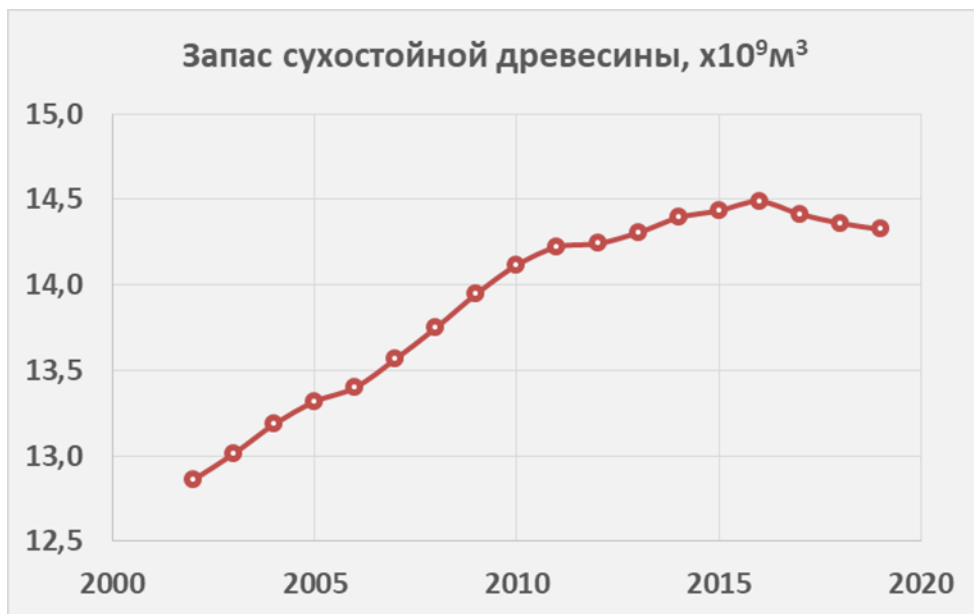
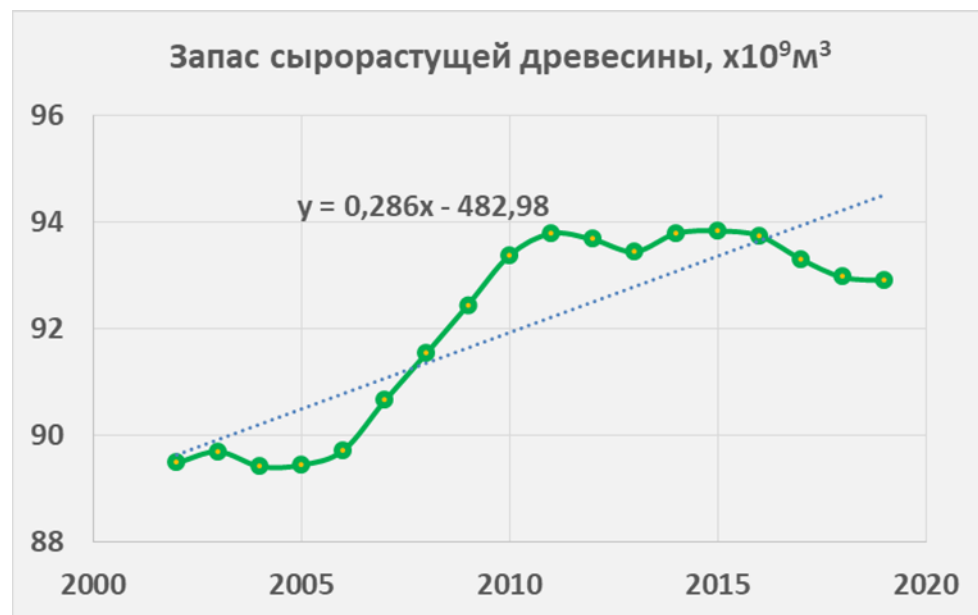
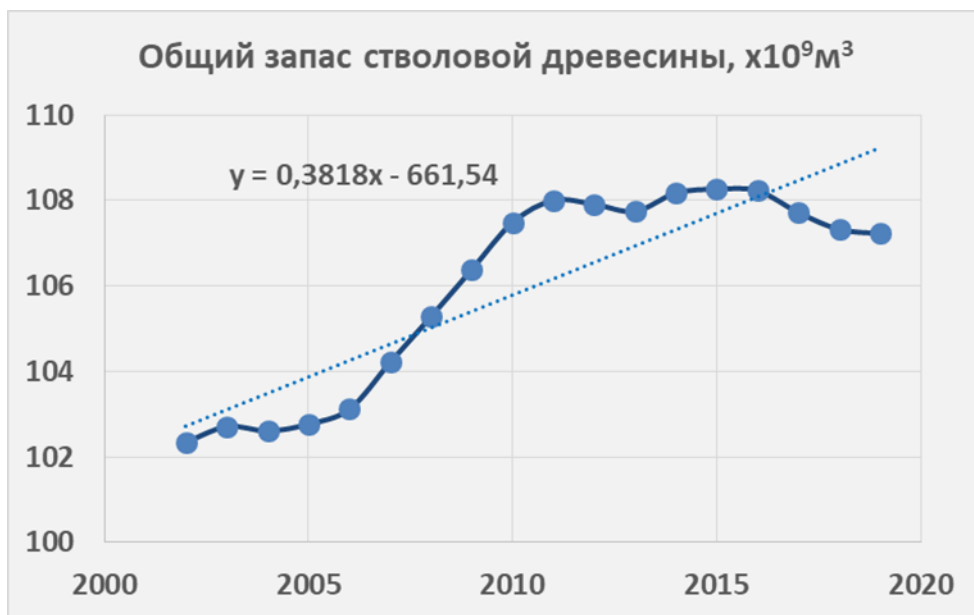
Мониторинг повреждений лесов



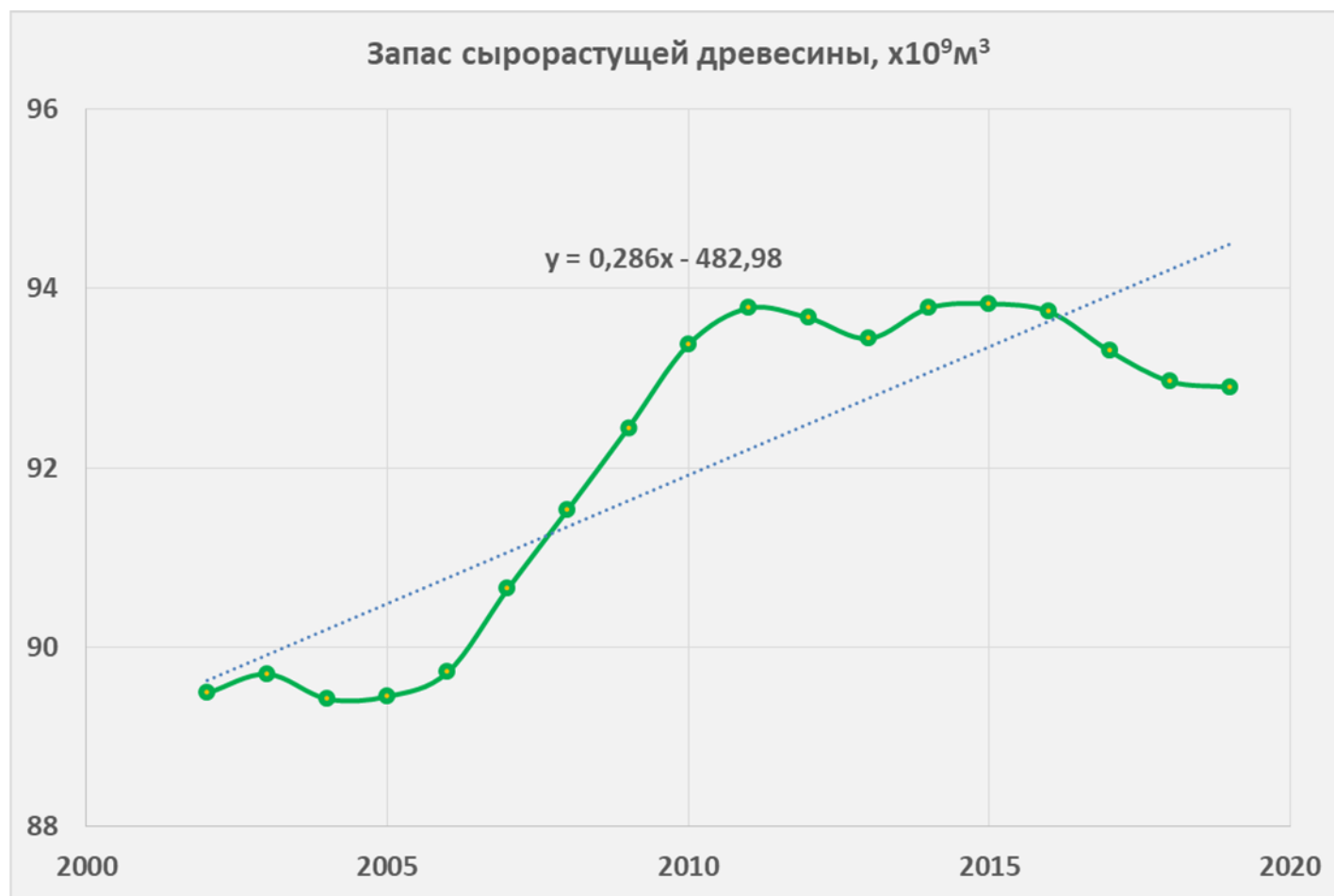
Удельные запасы лесов России



Динамика запасов древесины в лесах России



Темпы прироста запасов древесины в лесах России

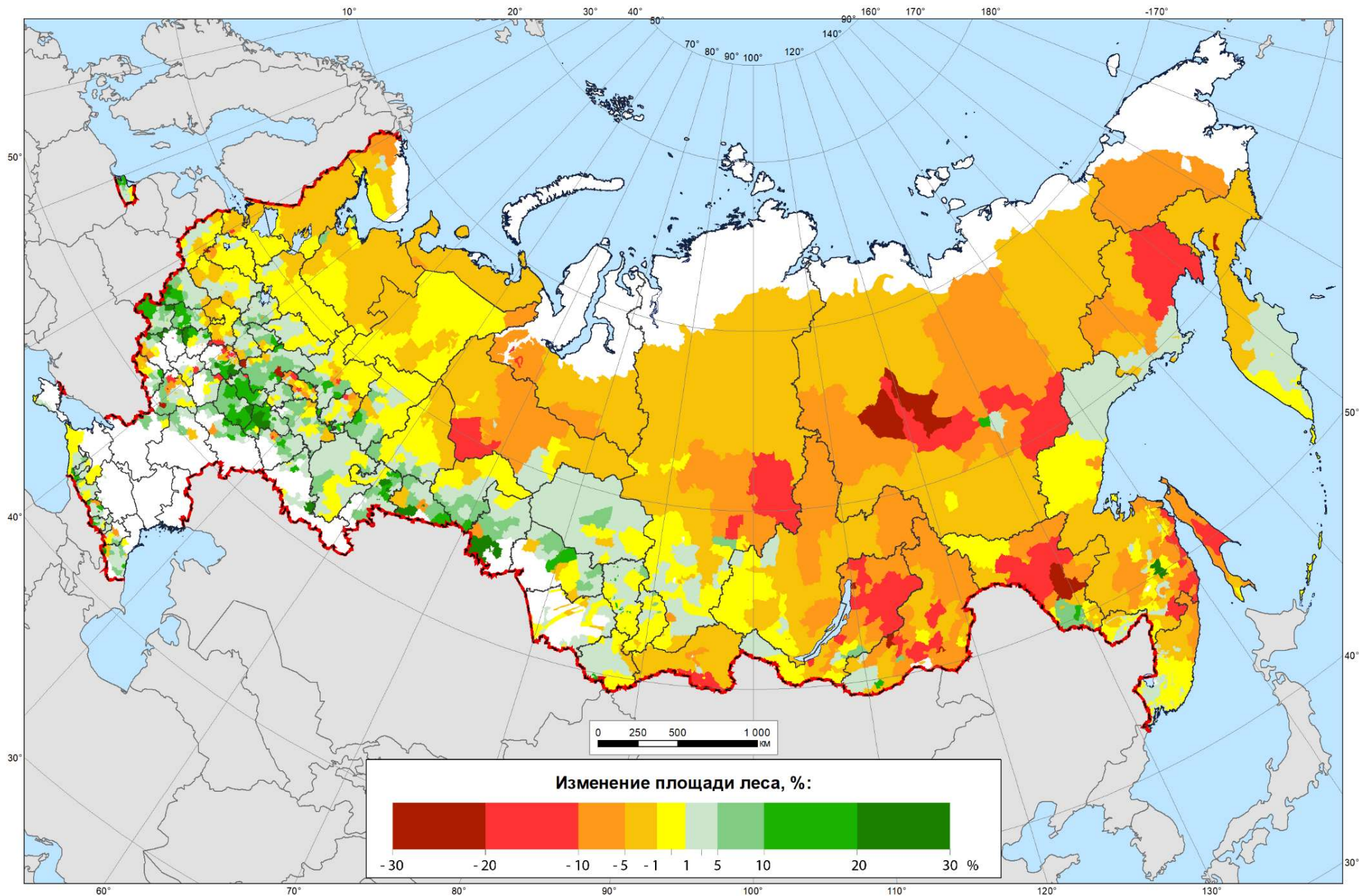


2002-2019: $\sim 200 \text{ млн. м}^3 \times \text{год}^{-1}$

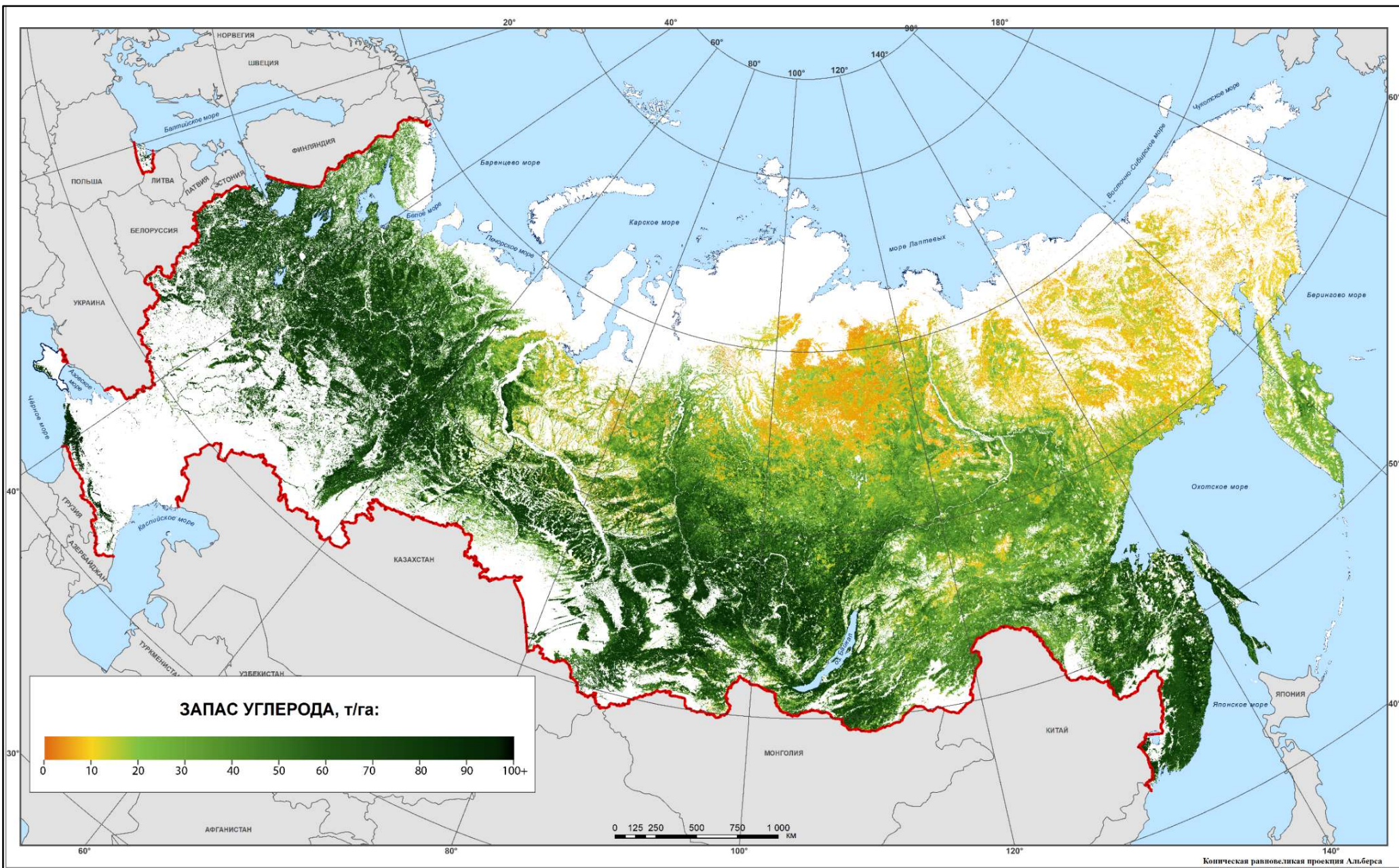
2006-2010: $\sim 913 \text{ млн. м}^3 \times \text{год}^{-1}$

2007: $\sim 930 \text{ млн. м}^3$

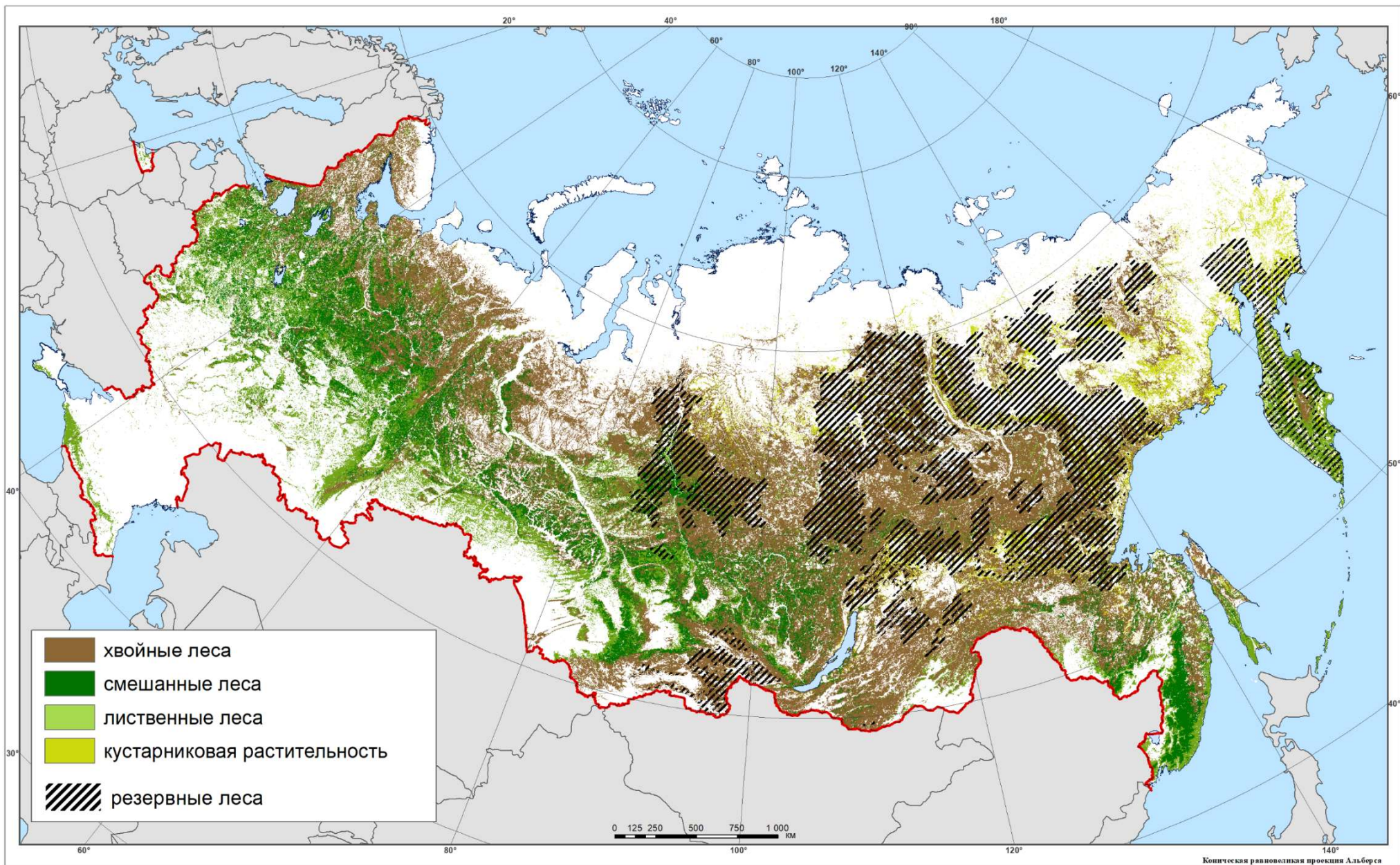
Изменение площади лесов России, 2001-2020



Запас углерода в биомассе лесов России

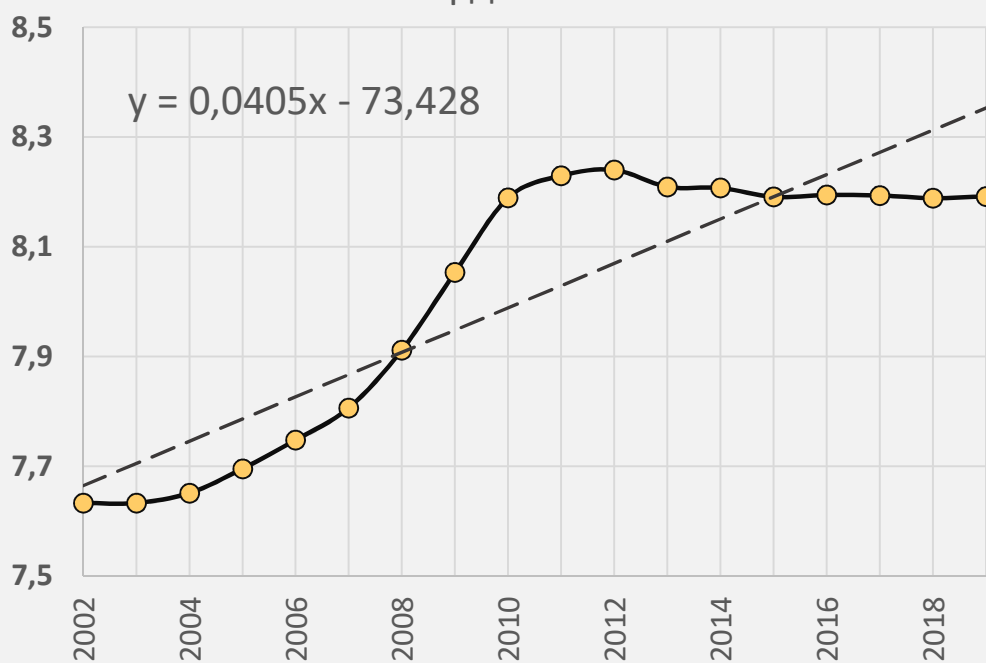


Территории резервных (неуправляемых) лесов России

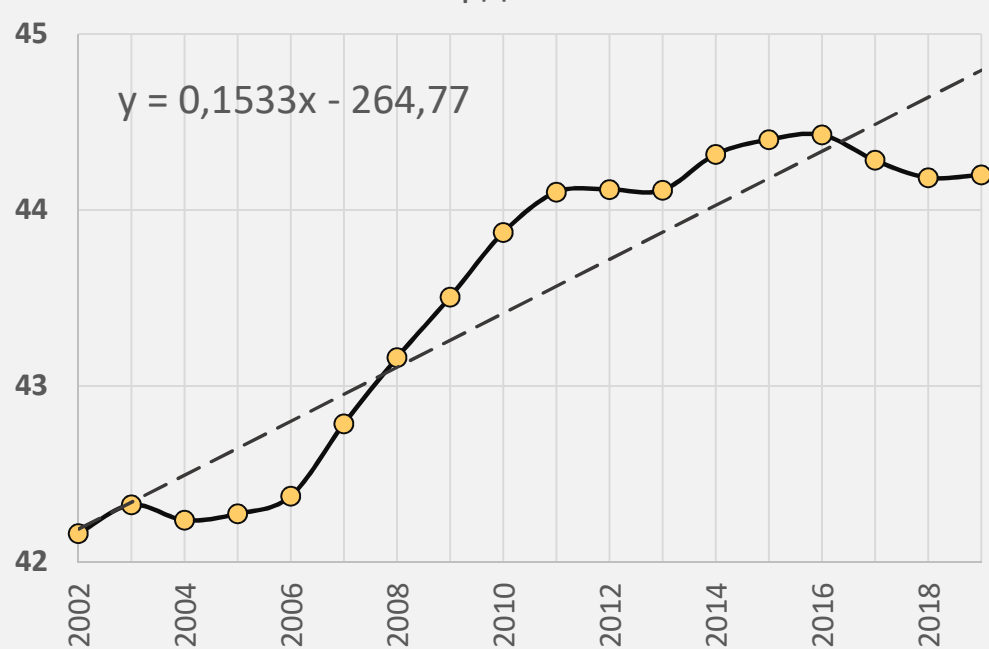


Динамика запаса углерода на территории управляемых и резервных лесов России

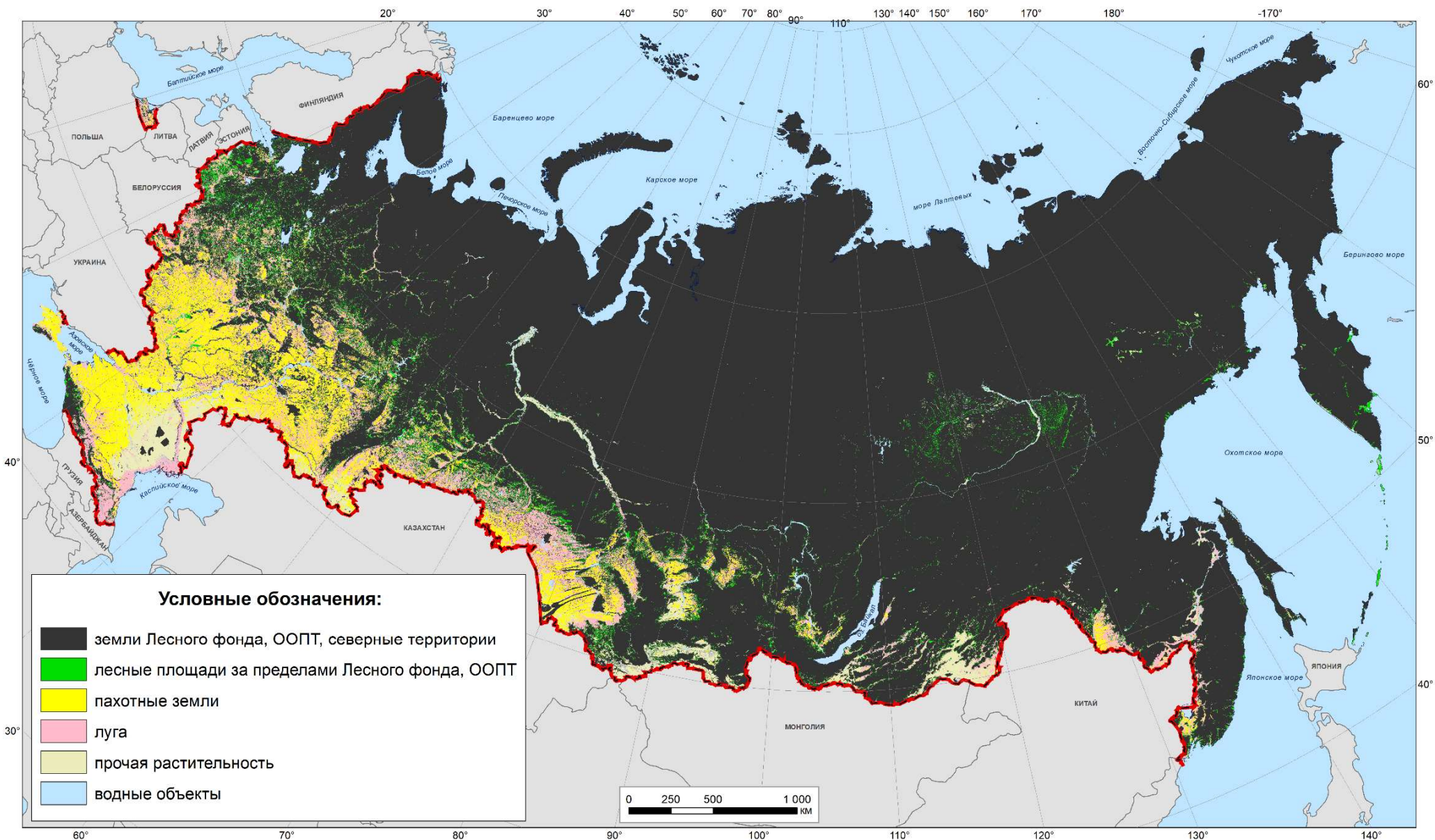
Запас углерода в резервных лесах,
млрд тонн



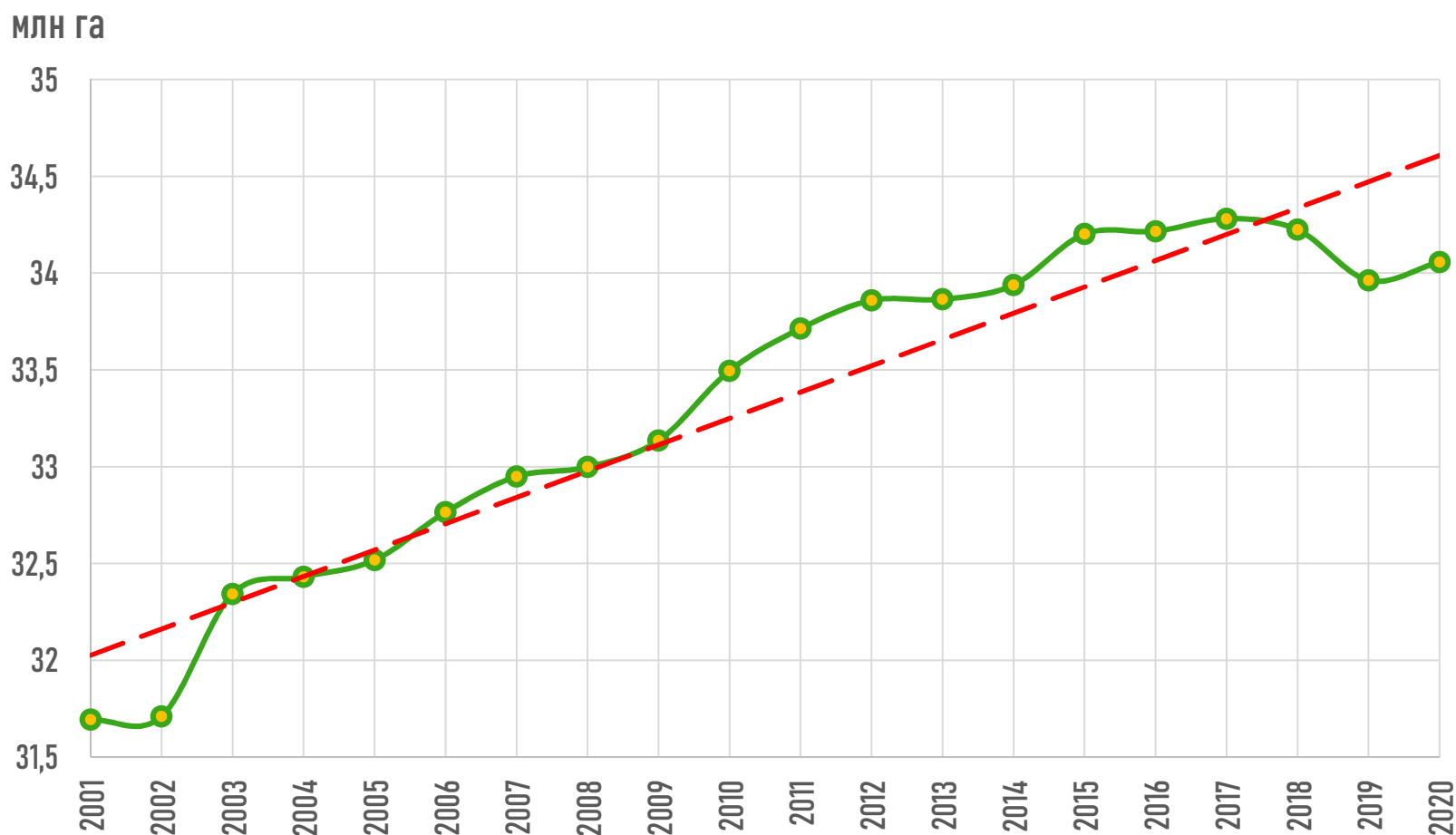
Запас углерода в управляемых лесах,
млрд тонн



Лесной покров на заброшенных с/х землях



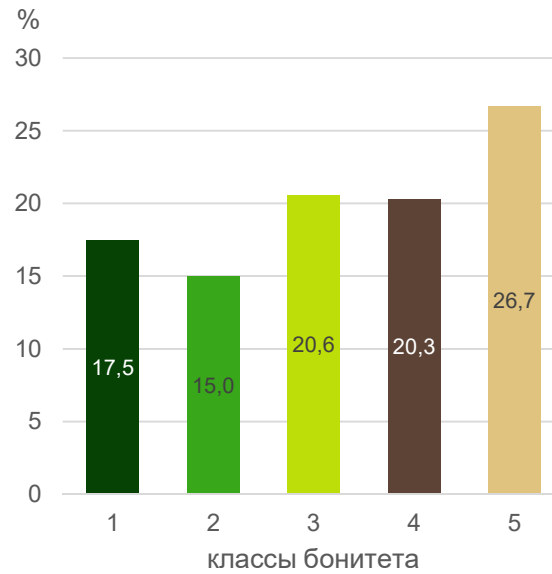
Динамика площади леса на заброшенных с/х землях



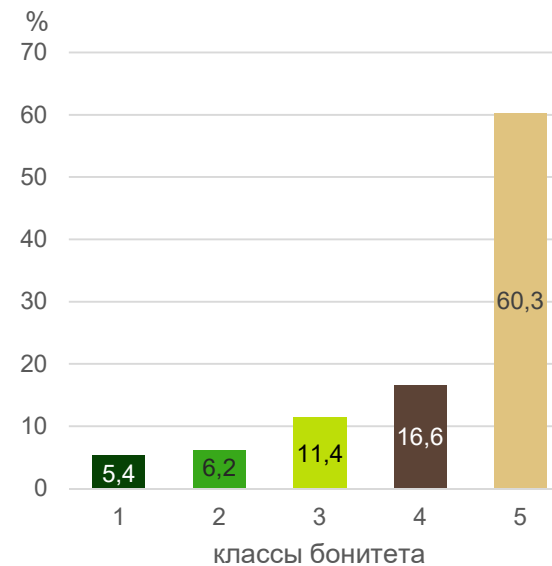
Среднемноголетние темпы увеличения площади лесов на заброшенных с/х землях в 2001-2020 годах: ~125 тыс. га в год

Продуктивность лесов

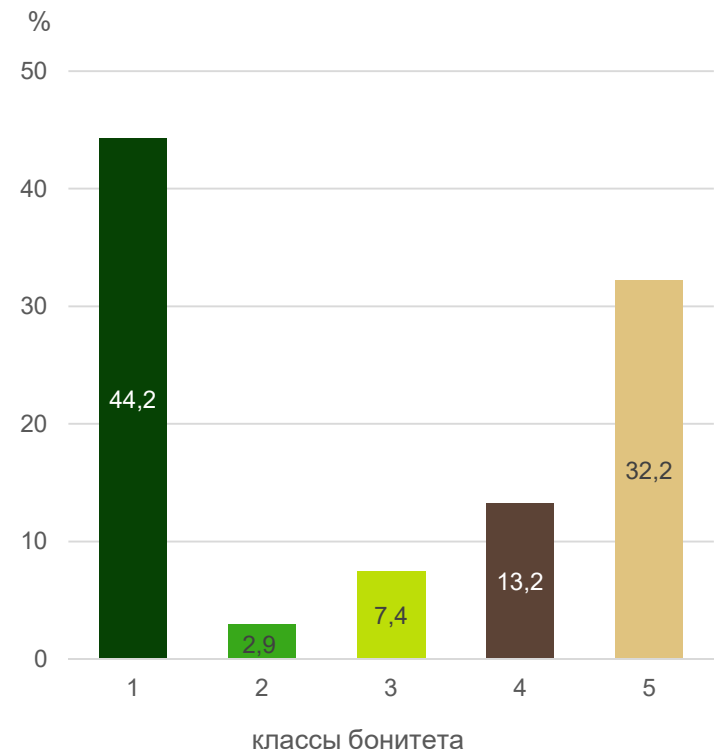
Распределение лесов на заброшенных с/х землях по классам бонитета:



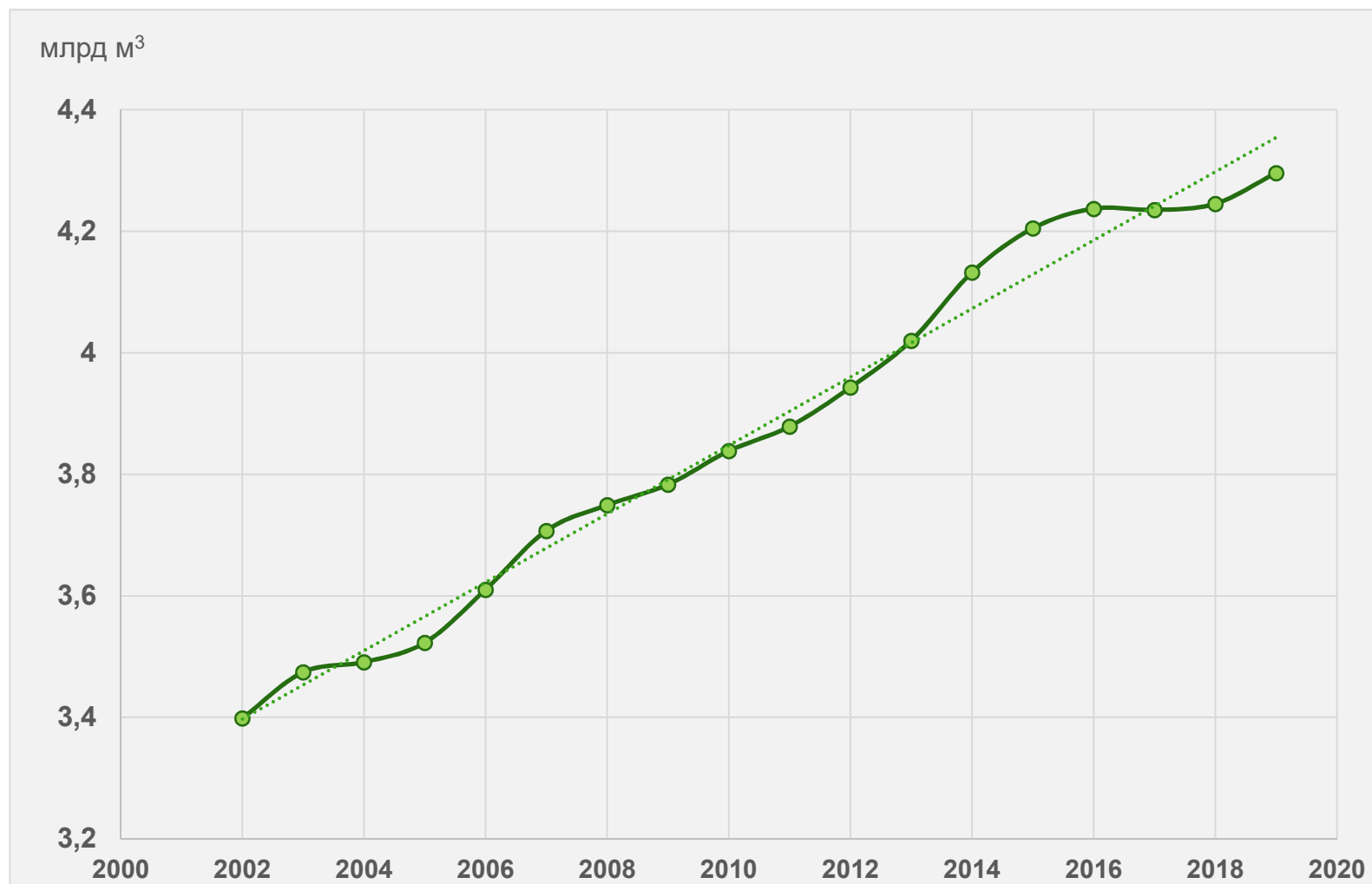
Распределение лесов на землях Лесного фонда и ООПТ по классам бонитета:



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

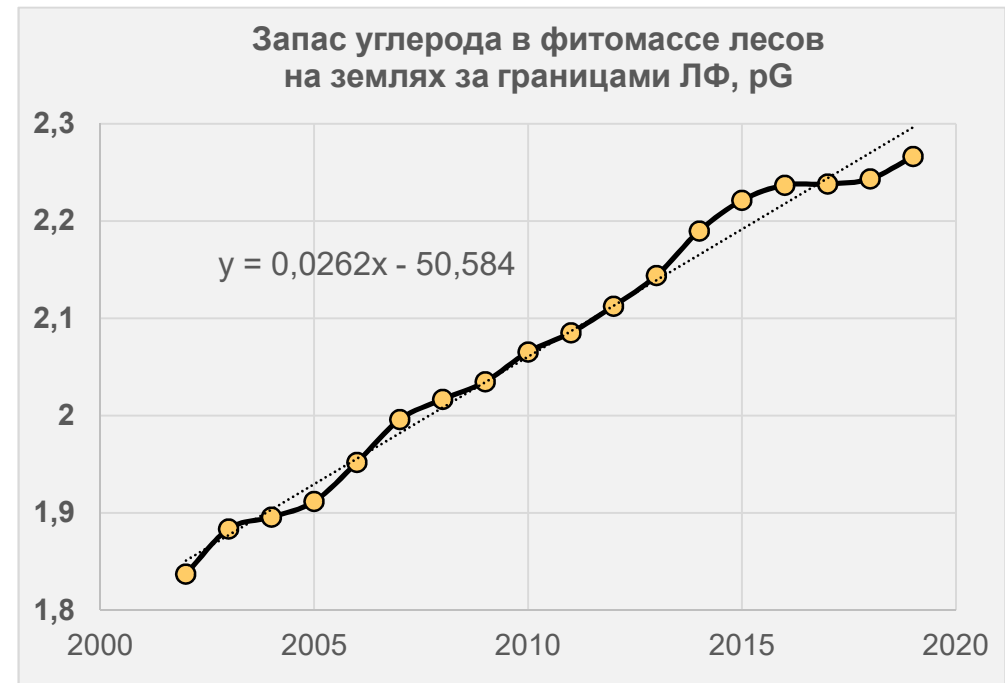
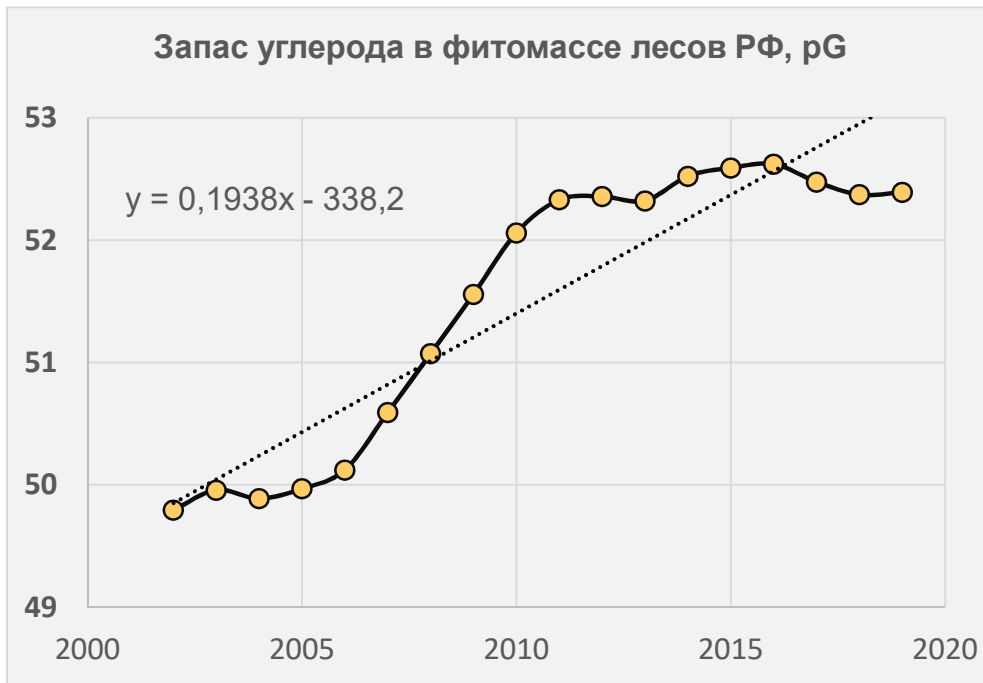


Динамика запаса лесов на заброшенных с/х землях



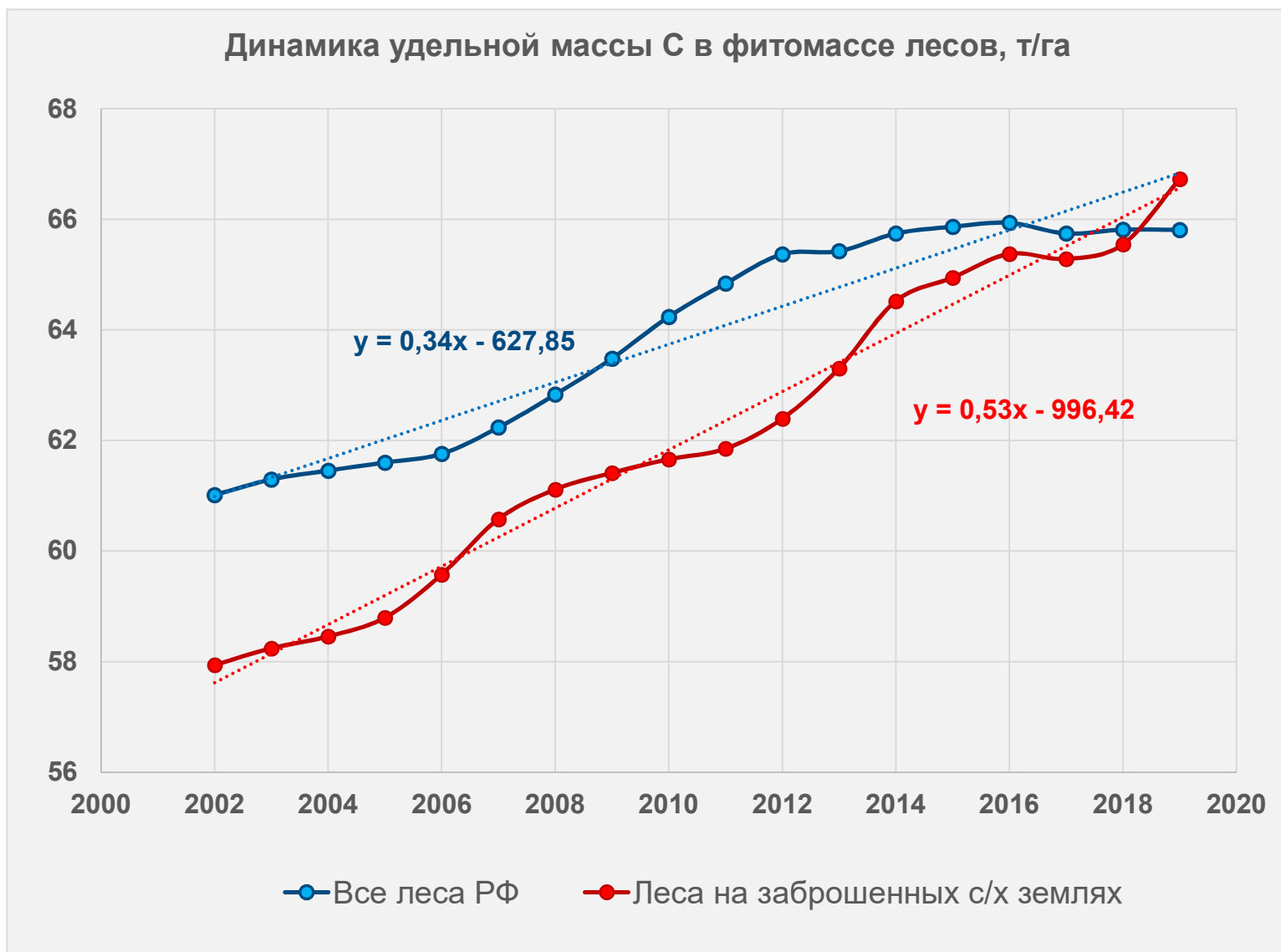
Средний прирост запаса лесов на с/х землях в 2002-2019 гг. ~ 50 млн. м³ в год
Общий запас лесов на землях, заросших в 2002-2019 гг. - 0,5 млрд. м³

Динамика углерода в лесах России

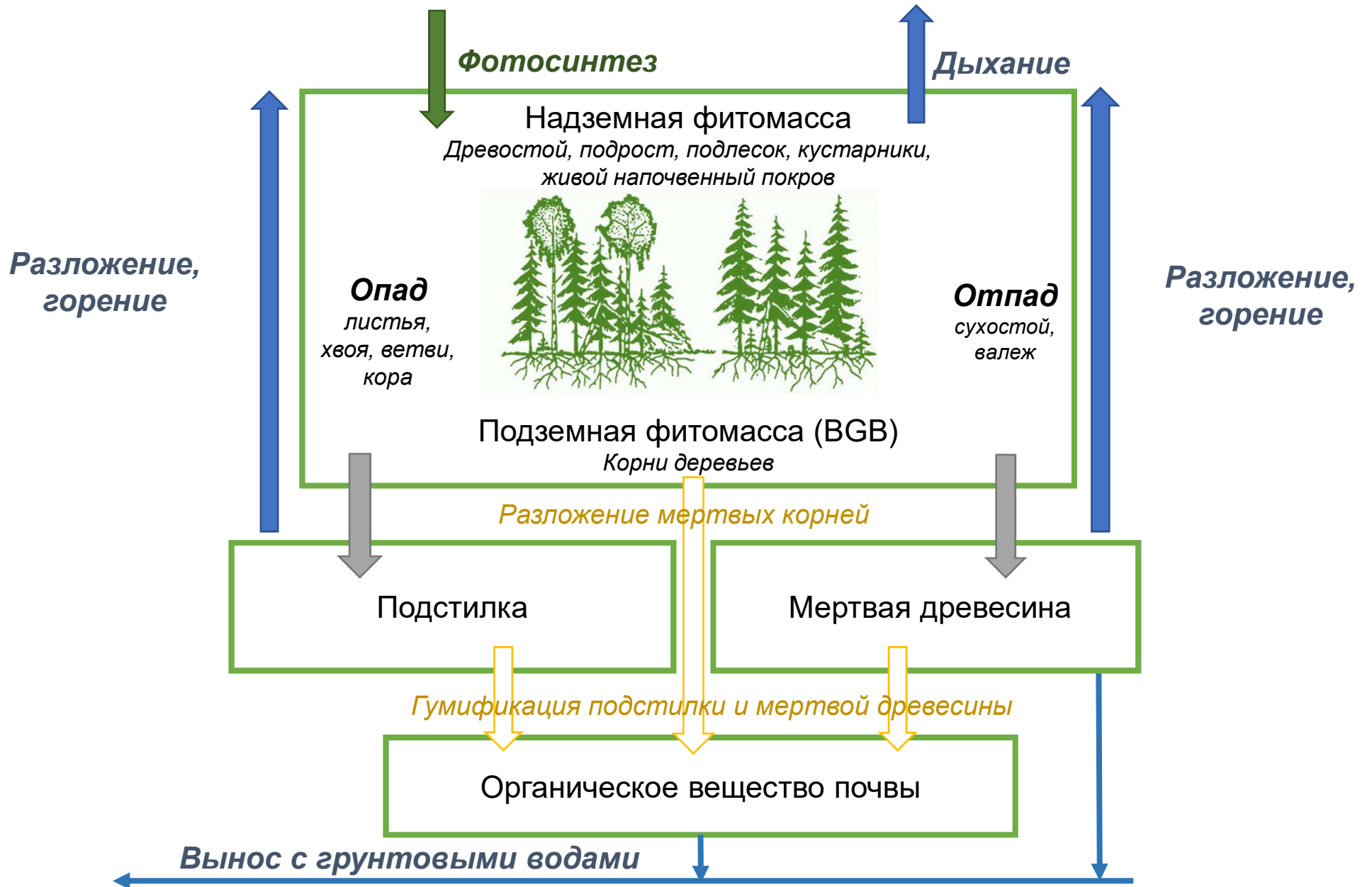


- Запас углерода во лесах России составлял в 2019 году $52,6 \times 10^9$ тС, в том числе $2,3 \times 10^9$ тС (**4,4%**) на землях за границами лесного фонда (преимущественно на заброшенных сельскохозяйственных землях);
- Динамика запасов углерода в фитомассе лесов России в период 2002-2019 гг показывает позитивный тренд со средней скоростью накопления 194×10^6 тС/год. Среднегодовые темпы увеличения запасов углерода на землях за границами лесного фонда (преимущественно на заброшенных сельскохозяйственных землях) за тот же период составили 26×10^6 тС/год (**13,4%** от общего среднегодового прироста углерода в фитомассе всех лесов).

Динамика удельной массы углерода в лесах России



Пулы и потоки углерода в лесах



Организация сети пулов и потоков углерода в лесах

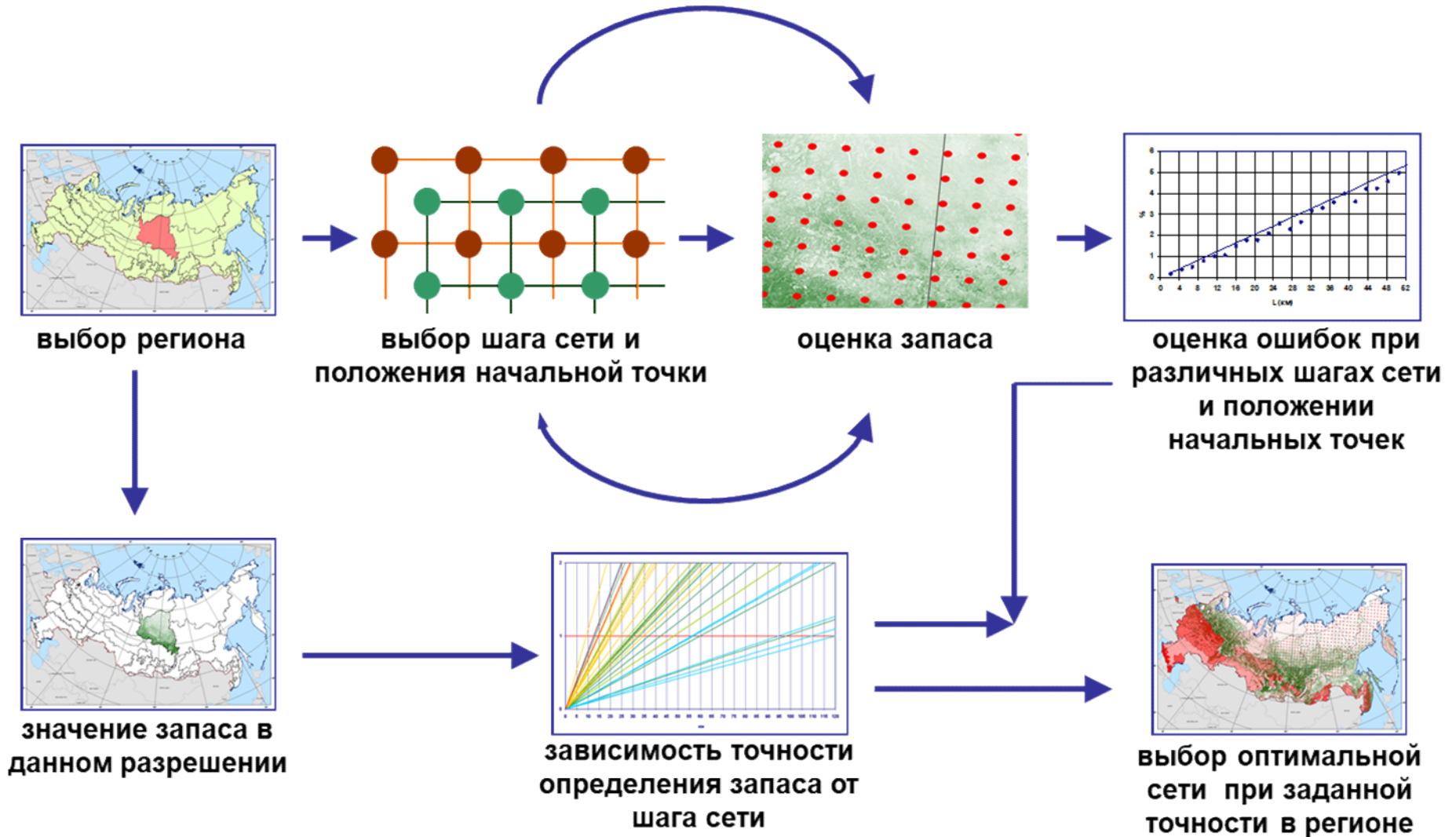
Система национального мониторинга бюджета углерода должна включать размещение на территории всех лесов России :

- учетных площадей **экстенсивного мониторинга** для периодического измерения динамики пулов углерода, не только **растительности**, но и **почв**.
- учетных площадей **интенсивного мониторинга** для непрерывного измерения **потоков углерода**.
- циклы углерода **в естественных лесных экосистемах** регулируются **БИОТОЙ**, взаимодействием всех компонентов биоразнообразия. Биоразнообразие и, соответственно, пулы и потоки углерода в них, значительно различаются **в разных типах леса**.
- Только в Европейской части России идентифицировано (база данных ЦЭПЛ РАН) **150 доминирующих типов леса x 5 групп возраста** (молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые, перестойные) = до 750 разновидностей. Включают **старовозрастные малонарушенные леса** – хранители биоразнообразия и почвенного пула углерода и **леса на разных стадиях восстановительных сукцессий после нарушений**: рубки, пожары, вспышки массового размножения насекомых, грибные и бактериальные болезни.

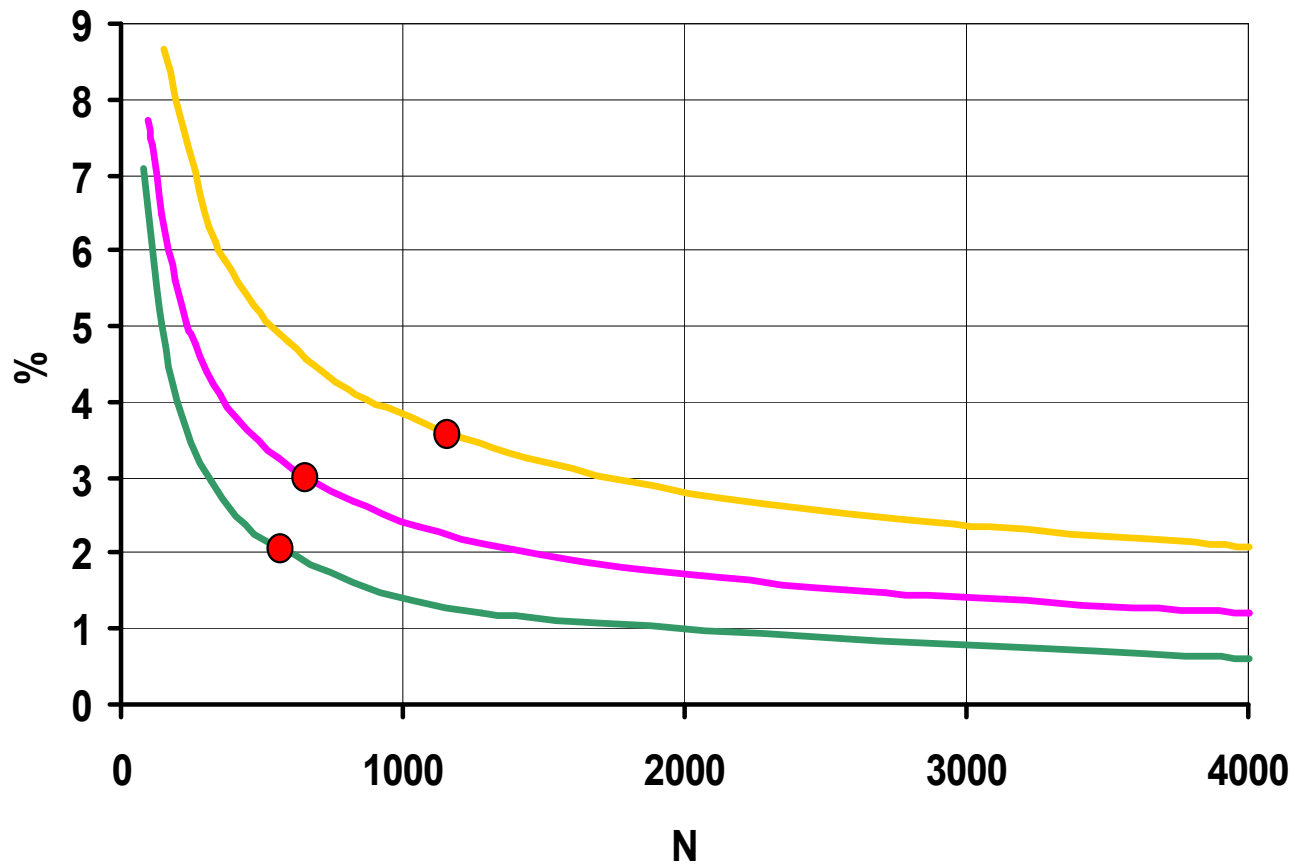
Организация национальной двухуровневой сети пулов и потоков углерода в лесах (продолжение)

- В состав наблюдательной сети баланса углерода в лесах должны входить имеющиеся в институтах РАН, других НИИ, ВУЗах **пробные площади/станции научного экстенсивного мониторинга** и пробные площади **государственной инвентаризации лесов и лесопатологического мониторинга**.
- В состав сети должны входить станции **интенсивного мониторинга**, включая опытные полигоны функционирующих международных научных станций FluxNet по изучению обмена потоками парниковых газов (а также энергии и влаги) между атмосферой и лесами и станции мониторинга состава осадков и почвенных вод (международная программа ICP Forests).
- **Карбоновые полигоны могут стать частью сети интенсивного уровня.**

Возможные методические подходы к проектированию сети ПП (на примере оценки запаса лесов)

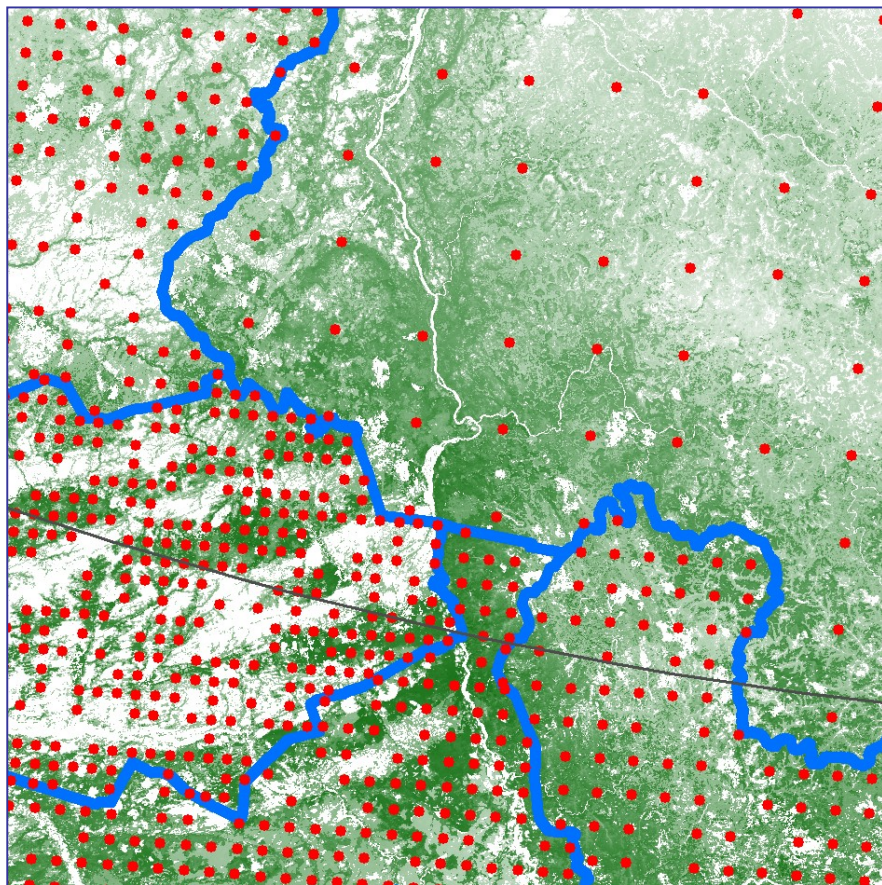


Кривые оптимума Парето по критериям «качество - затраты» при проектировании сети ПП

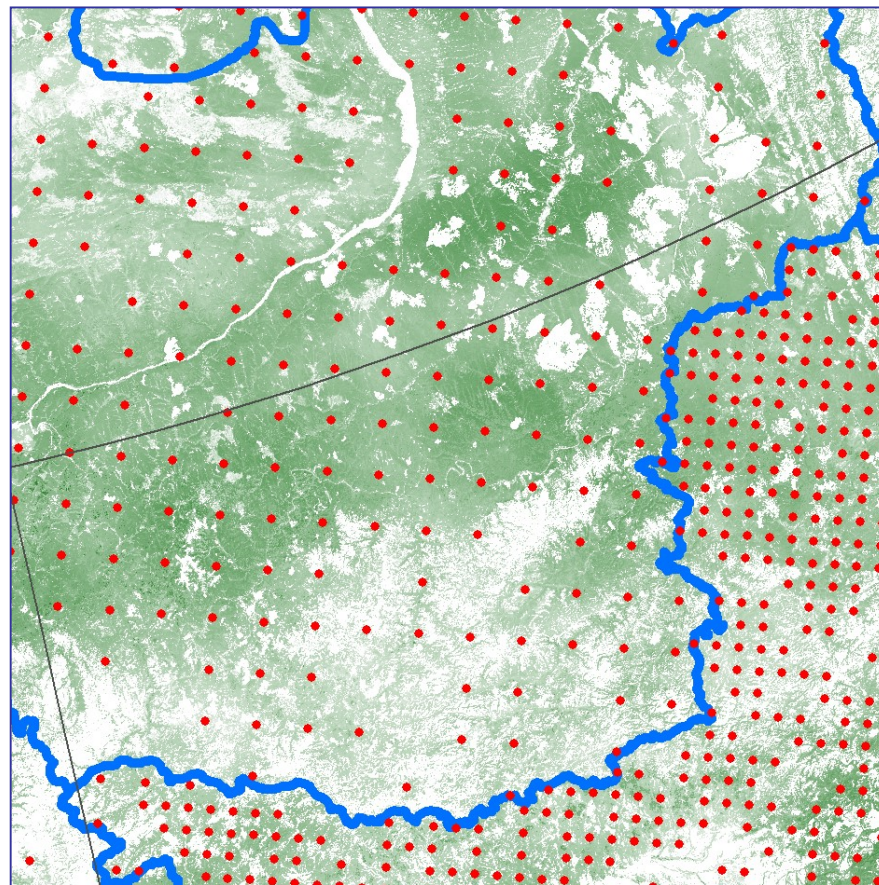


— Архангельская обл. ● — Удмуртская респ. ● — Хабаровский край. ●

Примеры расположения ПП на лесных территориях



1



2

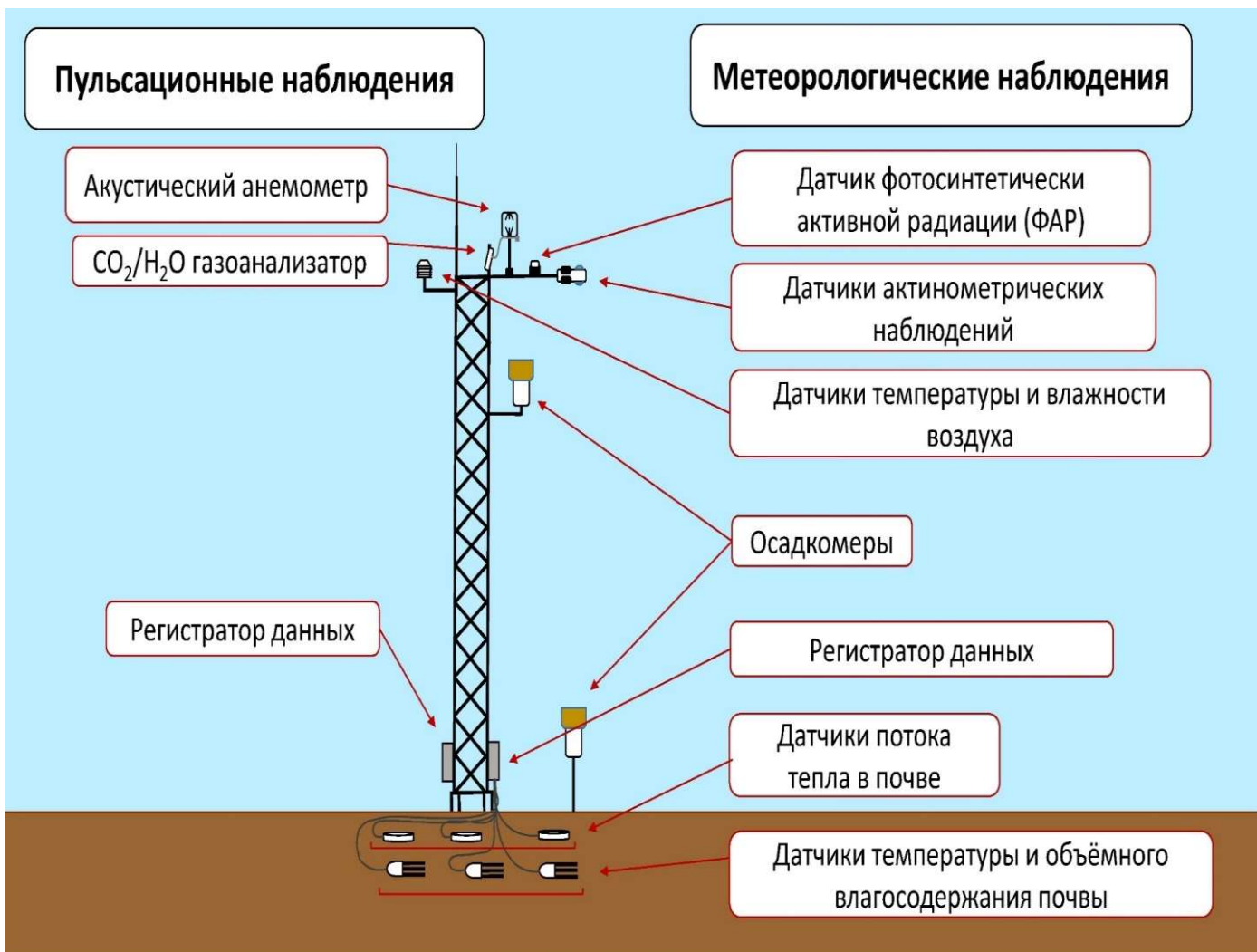


Эколого-климатические станции в лесах России



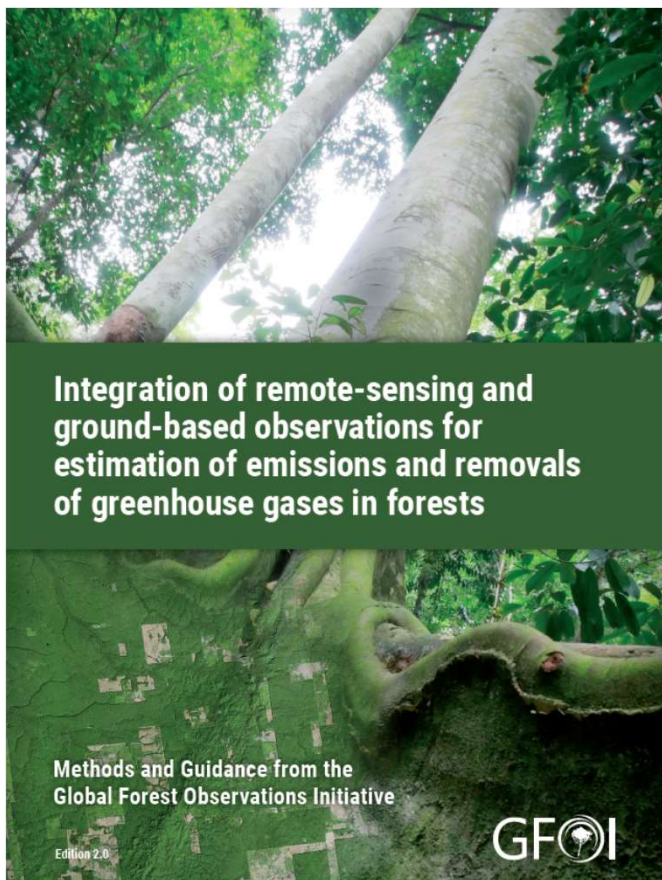
ИПЭЭ РАН, ЦЭПЛ РАН, ИГКЭ, ИБ Коми УрО РАН, ИЛ СО РАН,
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН

Эколого-климатическая станция FLUXNET



(фото Юлии Курбатовой)

Концепция мониторинга бюджета углерода лесов



Ежегодные карты:	<ul style="list-style-type: none"> • Полнота • Средняя высота • Бонитет • Возраст • Повреждения лесов
<ul style="list-style-type: none"> • Категории земель • Породы • Запас • Сомкнутость 	





Российский
научный
фонд



ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBIRIAN FEDERAL UNIVERSITY



КОСМИЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ УГЛЕРОДА ЛЕСОВ РОССИИ

Проведение исследований на базе Лабораторий мирового уровня при поддержке Российского научного фонда (грант № 19-77-30015)