Использование данных о типах растительности на территории РФ для повышения точности оценок выбросов углерода от лесных пожаров по спутниковым наблюдениям

студентка: Мазурина Серафима Михайловна

науч. рук.: к.т.н. Кобец Дмитрий Александрович

соруk.: к.т.н. Лозин Дмитрий Владиславович

Цель работы

Целью данной работы является повышение точности оценки выбросов CO и CO_2 от лесных пожаров на территории России за счёт уточнения коэффициентов пересчёта (β), зависящих от типа растительности, на основе сравнения результатов моделей GFED и GFAS, использующих спутниковые данные.

Задачи работы

1. Провести обзор моделей GFED и GFAS для оценки выбросов от пожаров.

2. Реализовать техническое сопоставление данных GFED, GFAS и более точной карты типов растительности для территории РФ с 2003 по 2023 гг.

3. Рассчитать значения коэффициентов β на основе полученных сопоставлений.

4. Рассчитать выбросы CO и CO_2 на основе полученных значений коэффициентов и сравнить полученные результаты с оценкой выбросов в модели GFAS.

Global Fire Emissions Database (GFED)

GFED – глобальная база данных о выбросах от пожаров, которая основана на подходе Seiler и Crutzen (1980) для оценки выбросов:

Оценка сухой сожжённой биомассы: $DM = A*B*k$,

где A – площадь, пройденная огнем (м^2), B – запас биомассы на единицу площади ($\frac{кг}{м^2}$), k – доля фактически сгоревшей биомассы.

Выбросы конкретных веществ: $E = DM*EF$,

где EF – фактор выбросов ($\frac{г}{кг}$), который показывает, сколько вещества выделяется при сгорании тонны биомассы.

Global Fire Assimilation System (GFAS)

GFAS – глобальная система оценки выбросов от сжигания биомассы в реальном времени на основе спутниковых наблюдений FRP.

FRP – это мощность теплового излучения, выделяемого активным пожаром (Вт):

$$FRP=\sigma * A * \left(T_f^4 - T_b^4\right),$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}^4}$), А – площадь пикселя (км^2), T_f^4 - температура пожара (К), T_b^4 – фоновая температура поверхности (К).

FRE – энергия теплового излучения пожара (МДж): $FRE=\int_{t_1}^{t_2} FRP\,(t)dt.$

Оценка сухой сожжённой биомассы:

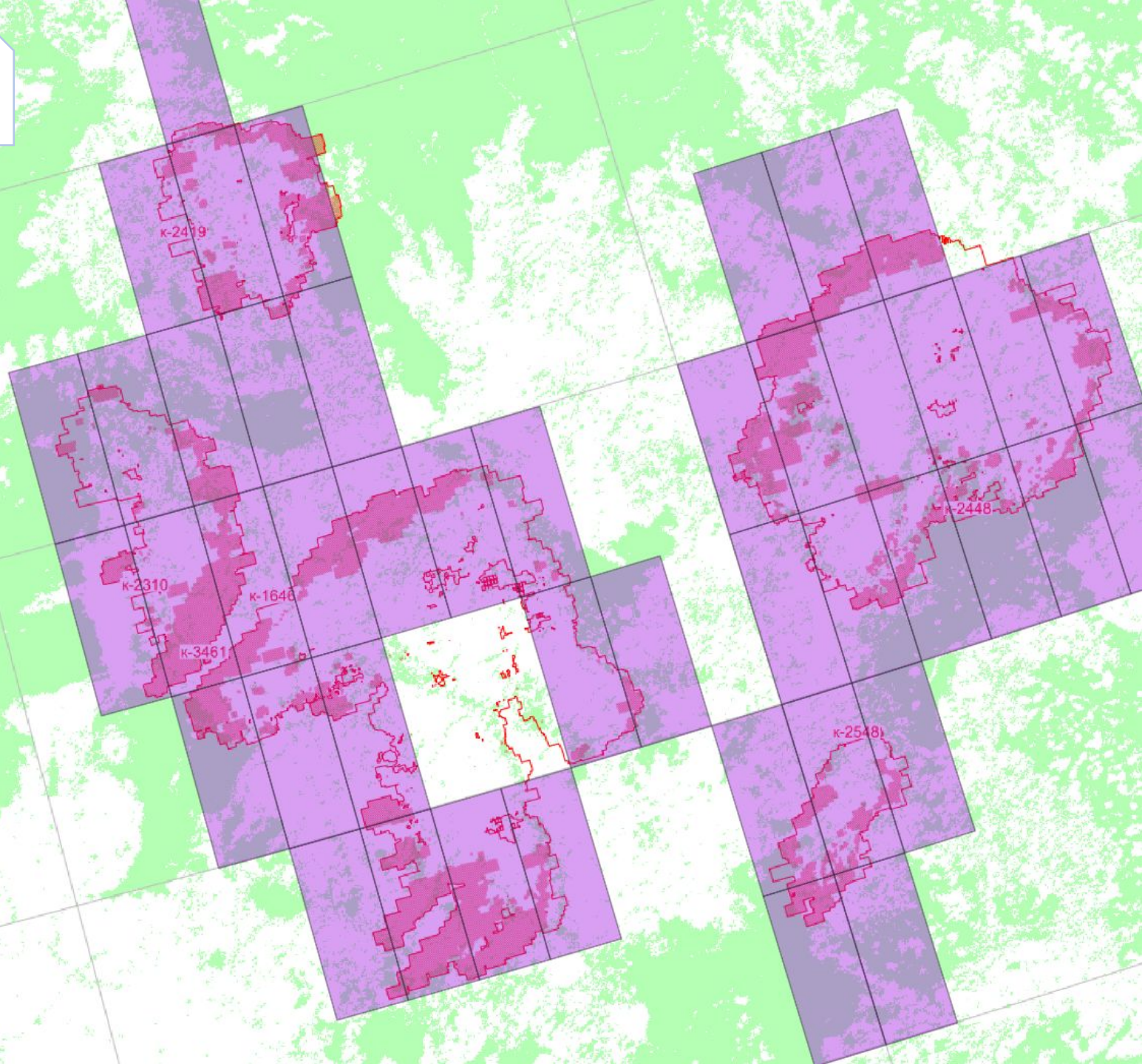
$$DM = FRE*\beta,$$

где β – коэффициент преобразования ($\frac{\text{кг}}{\text{МДж}}$), зависящий от типа растительности.

Исходные данные

GFED

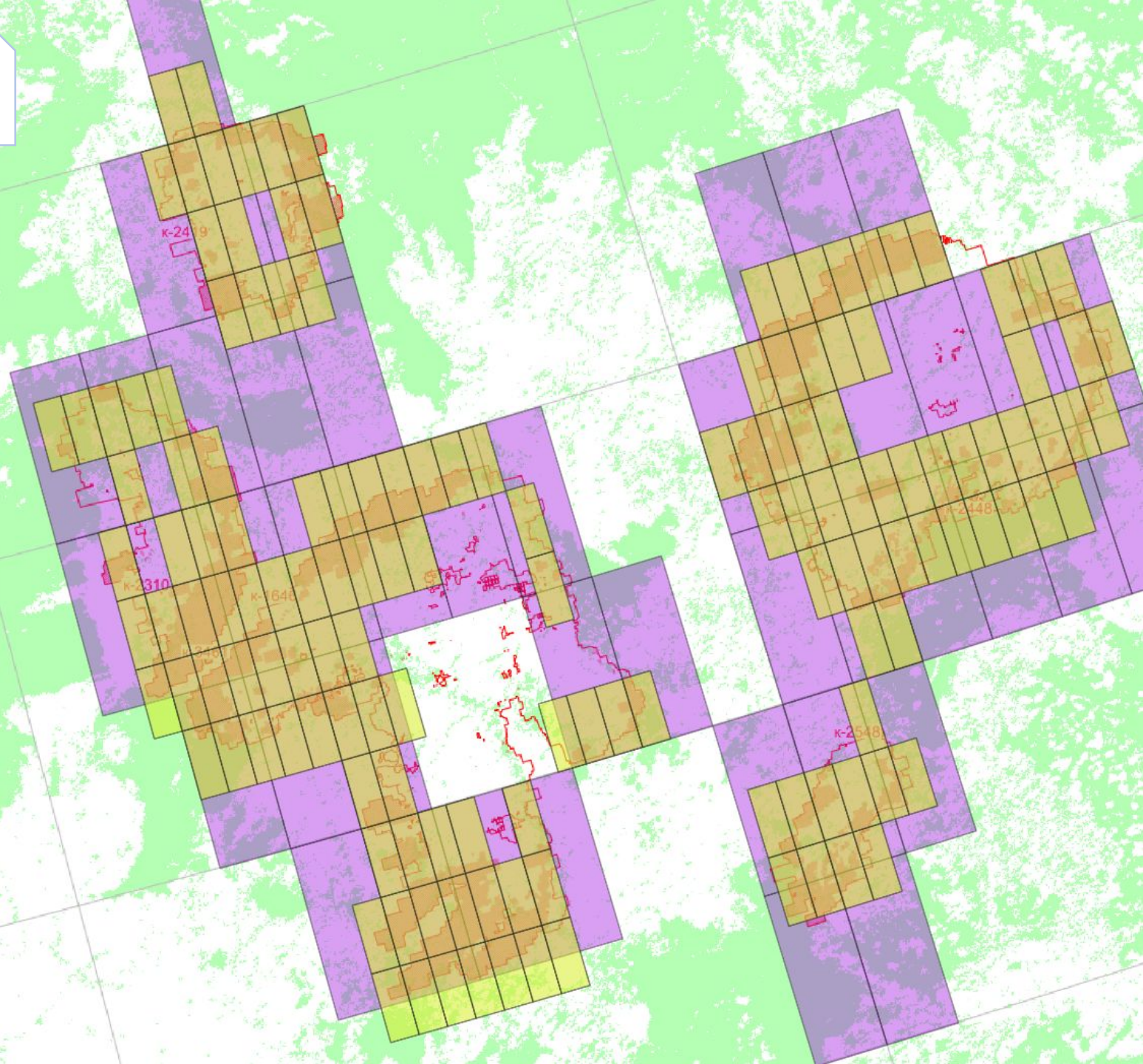
- Координаты центра (широта, долгота) прямоугольной области размера 0.25° * 0.25°, в которой наблюдался пожар,
- Дата наблюдения,
- Масса сгоревшей сухой биомассы DM (кг),
- Площадь пикселя ($м^2$).



Исходные данные

GFAS

- Координаты центра (широта, долгота) прямоугольной области размера 0.1° * 0.1°, в которой наблюдался пожар,
- Дата наблюдения,
- Площадь пикселя,
- Мощность излучения тепловой энергии в сутки.



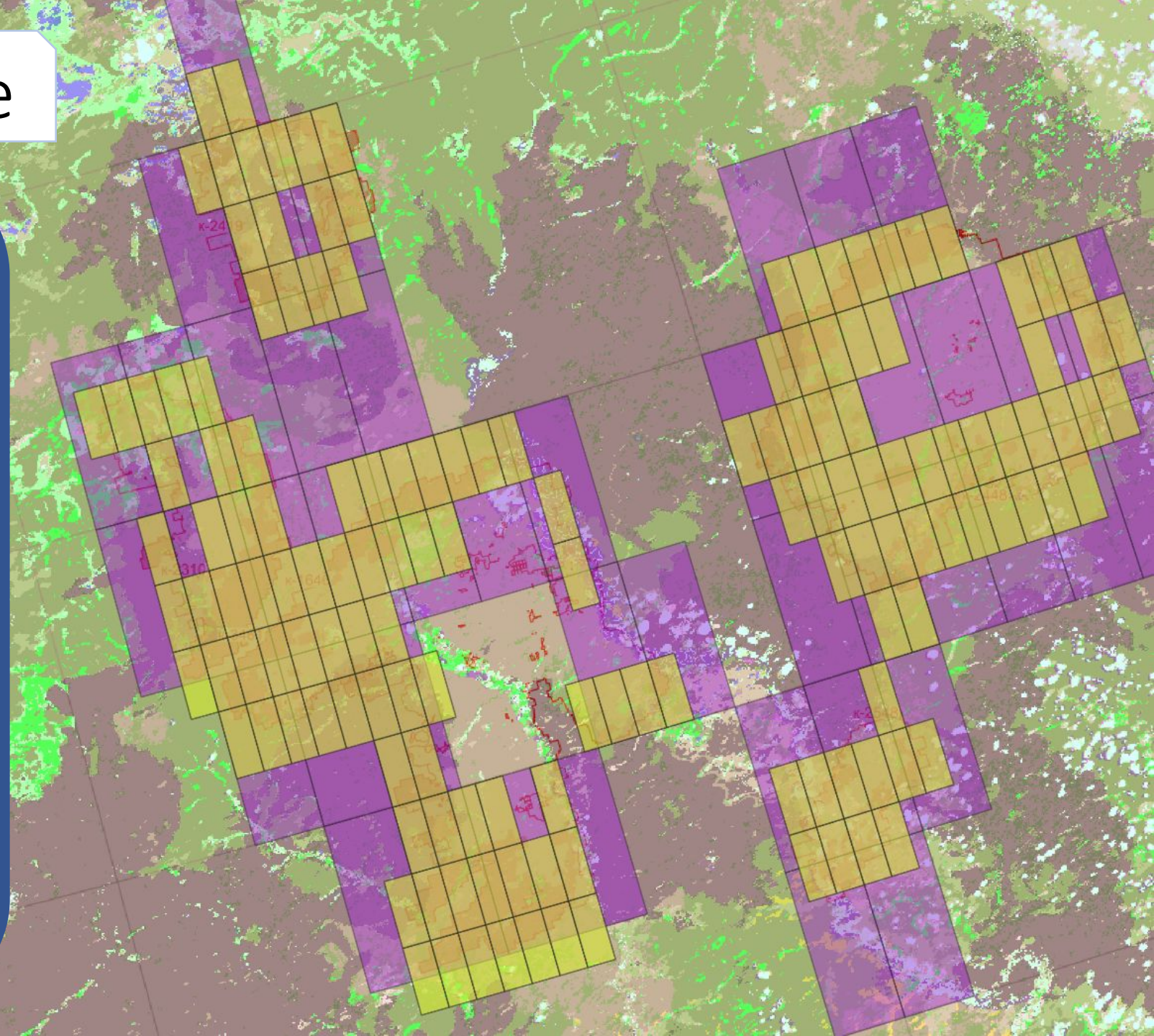
Исходные данные

Карта растительности

Карты типов территорий ИКИ РАН (Барталев и др.) Российской Федерации за 2002 – 2022 гг.

<u>Основные типы лесной растительности:</u>

- Темнохвойный лес
- Светлохвойный лес
- Лиственный лес
- Смешанный лес
- Хвойный листопадный лес
- Хвойный кустарник



Общая схема работы

1 Исходные данные

GFAS

- координаты центра пикселя
- дата
- FRP — радиационная мощность пожара [Вт/м²]

GFED

- координаты центра пикселя
- дата
- DM — масса сгоревшего сухого вещества [кг]

2 Базовый подход

- Для России используется 1 тип растительности
- 1 коэффициент β для всей территории

$$\beta\ [\text{кг/МДж}] = \frac{\sum DM}{\sum FRE}$$

β — коэффициент пересчёта FRE в DM;

3 Что сделано в работе

- Использована детальная карта типов растительности РФ
- FRP / FRE разбиты по типам растительности
- Для каждого типа рассчитан свой β_i

Дополнительно

- Помимо интегрального сравнения разработана схема попиксельного сравнения GFAS и GFED
- В перспективе подход применим для сравнения любых данных с регулярным пространственным представлением

4 Уточнённая схема расчёта

FRP → FRE → β_i → DM → E

$$DM = \beta_i \times FRE$$

$$E\ [\text{кг}] = \sum (DM \times EF_j)$$

где FRE — энергия излучения пожара;

EF — фактор выбросов;

E — выбросы газов.

Результат

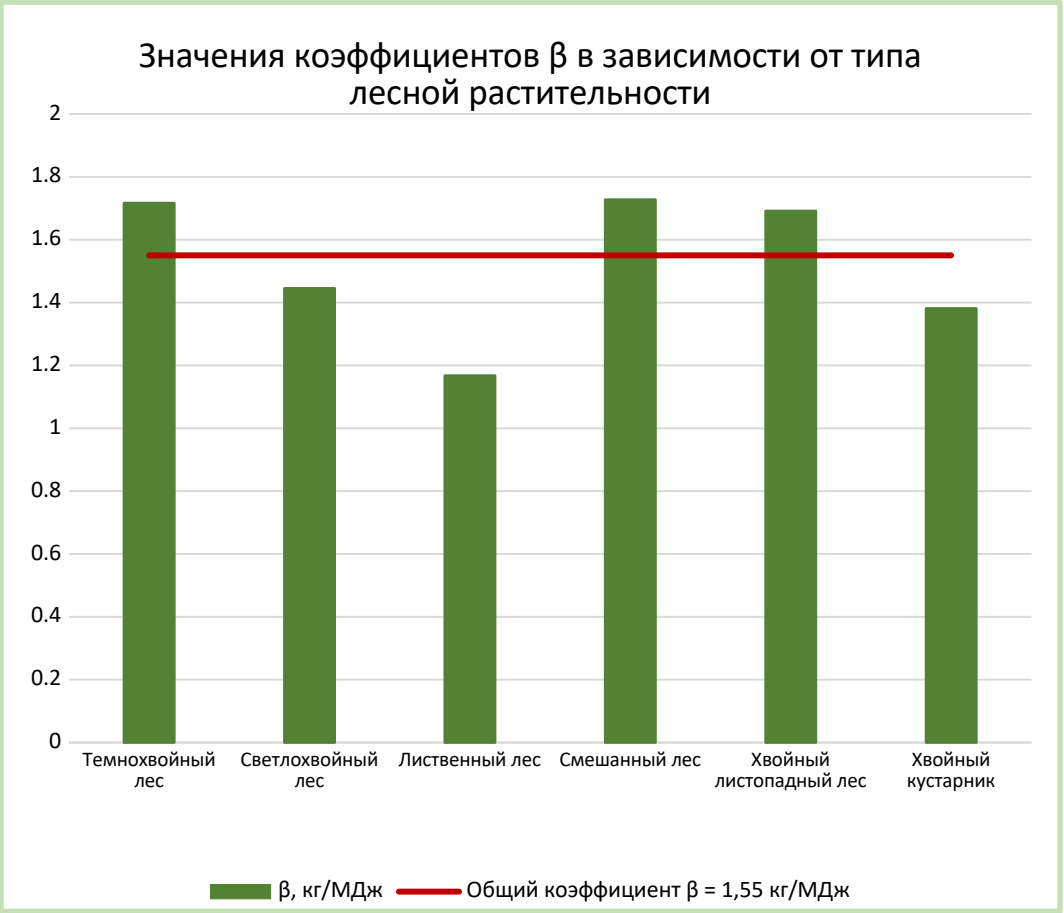
Более точная оценка выбросов, адаптированная для типов лесной растительности на территории России

Расчет коэффициентов β

Для оценки коэффициента β в данной работе применяется приближённый метод:

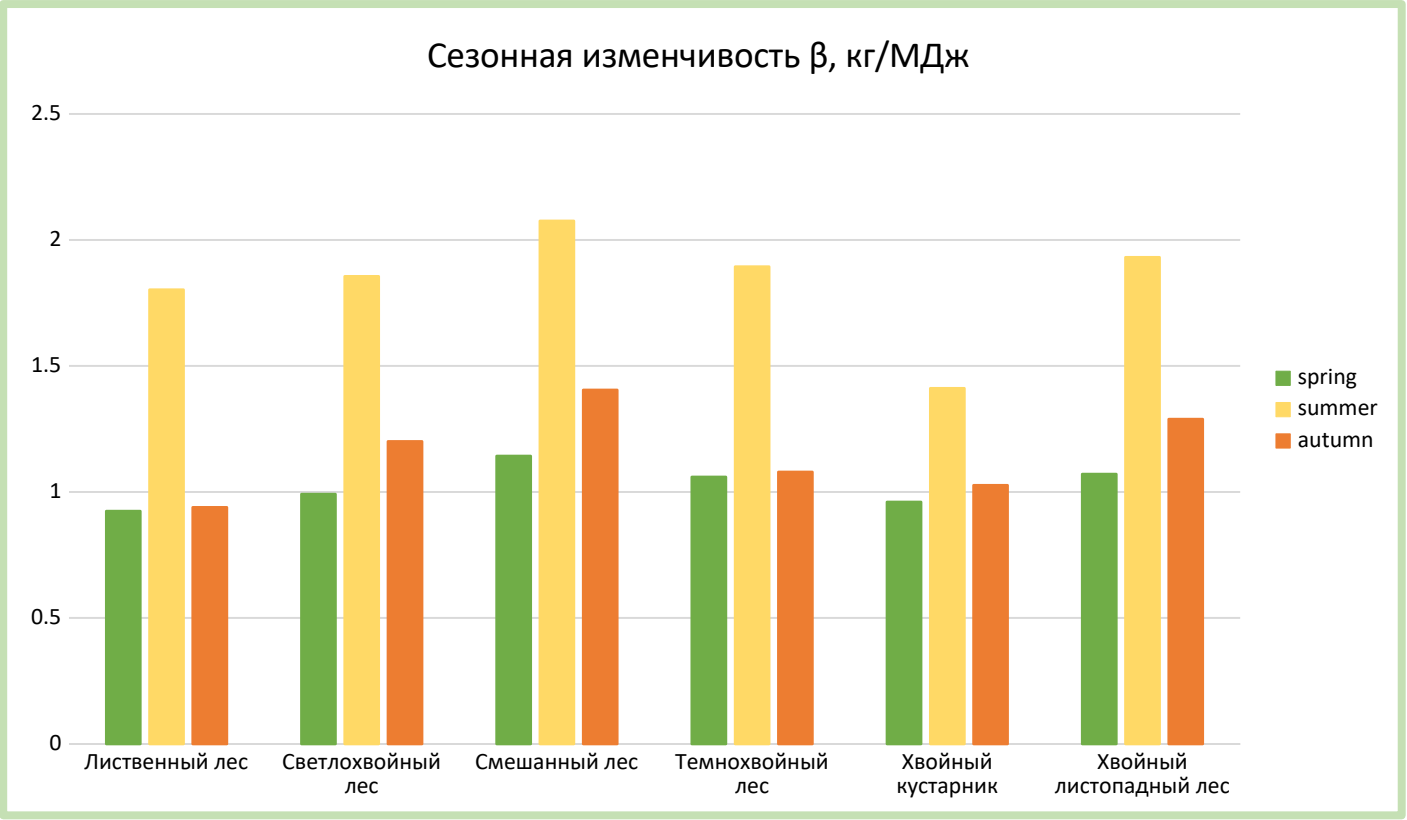
- для каждого типа растительности в пределах периода анализа производится суммирование значений FRP и DM;
- далее рассчитывается β как отношение общей массы сгоревшей биомассы $\sum DM$ к суммарной интенсивности горения: $\boldsymbol{\beta} \approx \frac{\sum DM}{\sum FRP}$.

- **Наибольшие значения** коэффициента характерны для **смешанных и хвойных лесов**. Это связано с большей плотностью горючего материала, развитой лесной подстилкой, которые увеличивают массу вовлекаемой в горение биомассы.
- **Более низкие** значения β получены для **лиственных лесов и хвойного кустарника**. Для лиственных лесов это объясняется иной структурой топлива и меньшей долей смолистых, долго горящих компонентов. Для кустарниковых классов более низкий коэффициент, вероятно, связан с меньшими запасами древесной биомассы по сравнению с сомкнутыми лесами.



Расчет коэффициентов β

Коэффициенты β имеют **выраженную сезонную изменчивость**. Наибольшие значения характерны для летнего периода, когда пожары достигают максимальной интенсивности и вовлекают значительные объёмы биомассы.



Количество горящих пикселей:

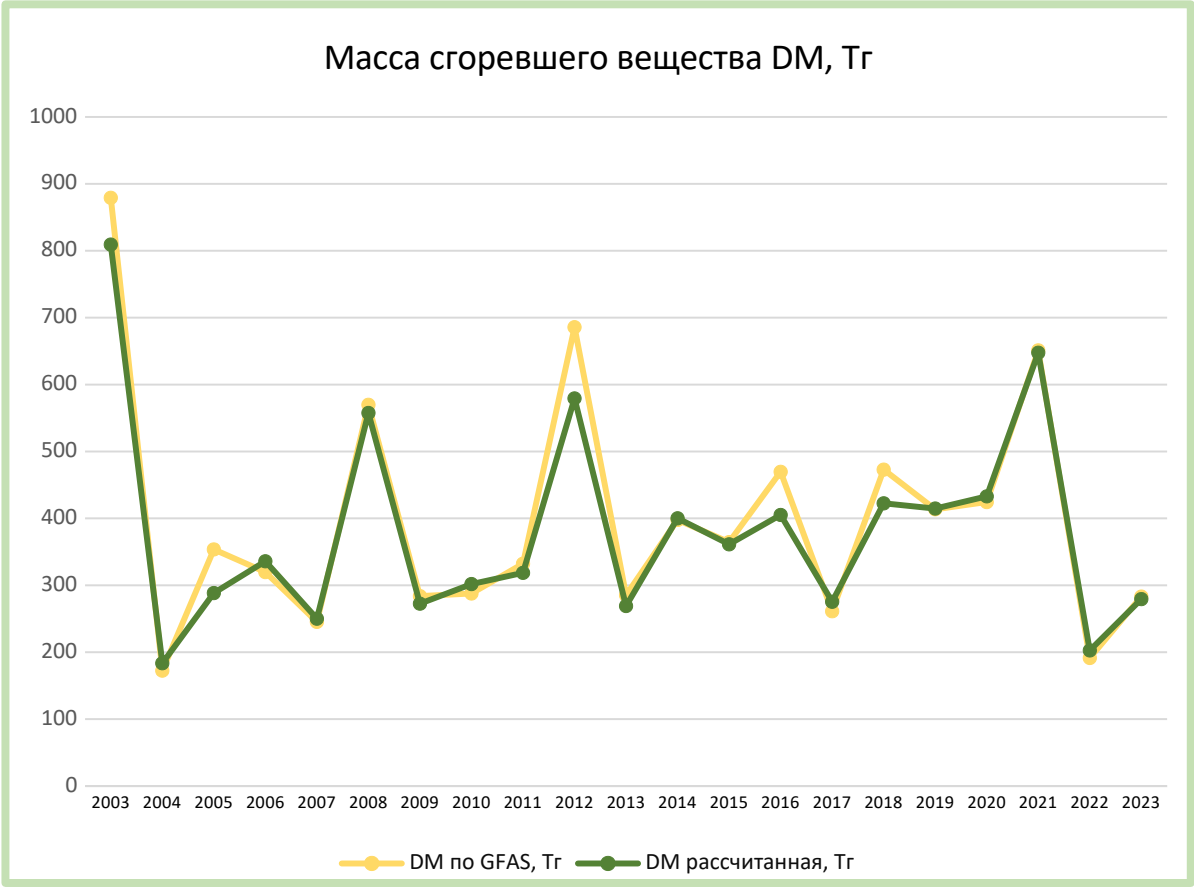
Spring: 1 460 535

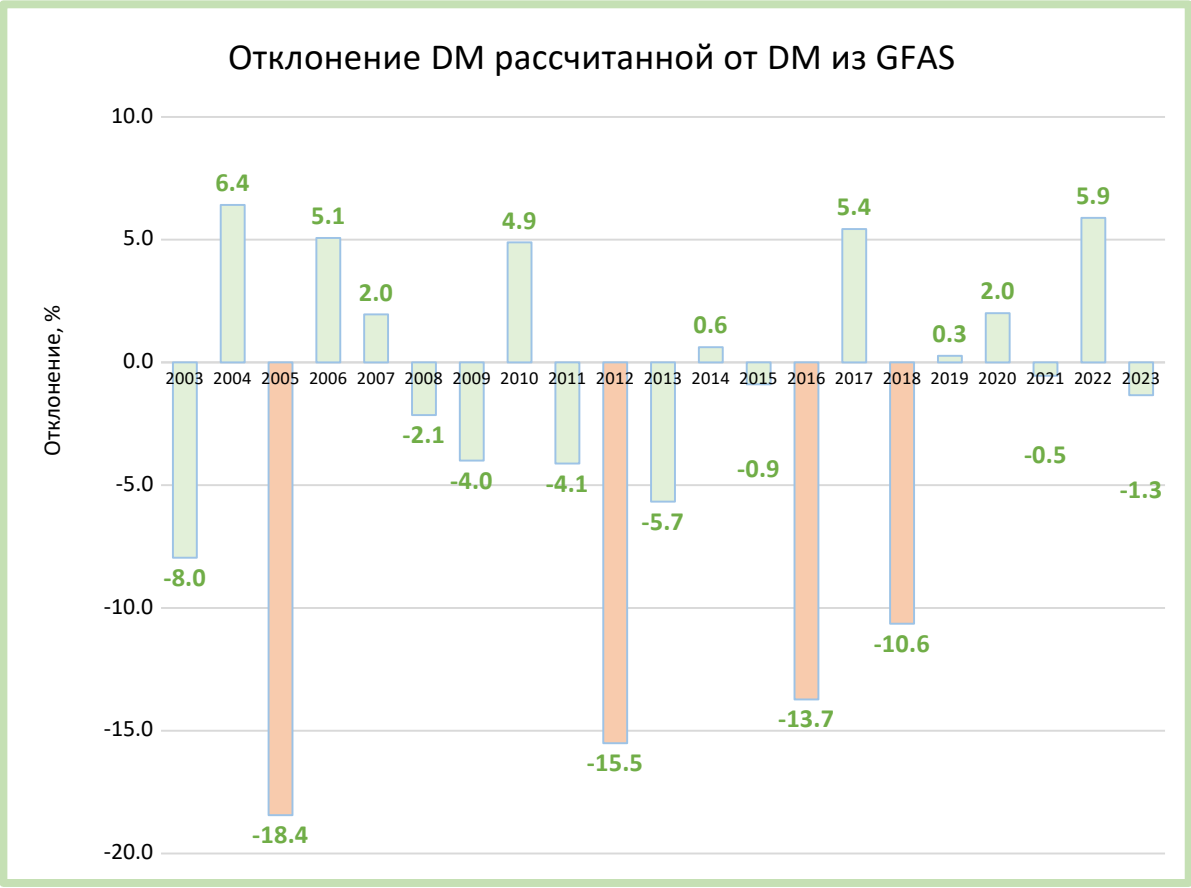
Summer: 1 210 762

Autumn: 540 313

Расчет массы сгоревшего вещества DM

- Среднее абсолютное отклонение рассчитанной DM от DM по GFAS без учета аномальных лет – 3,5 %;
- Наибольшие расхождения наблюдаются в 2005, 2012, 2016 и 2018 гг.;
- В большинстве лет отклонения находятся в пределах примерно ±6 %.

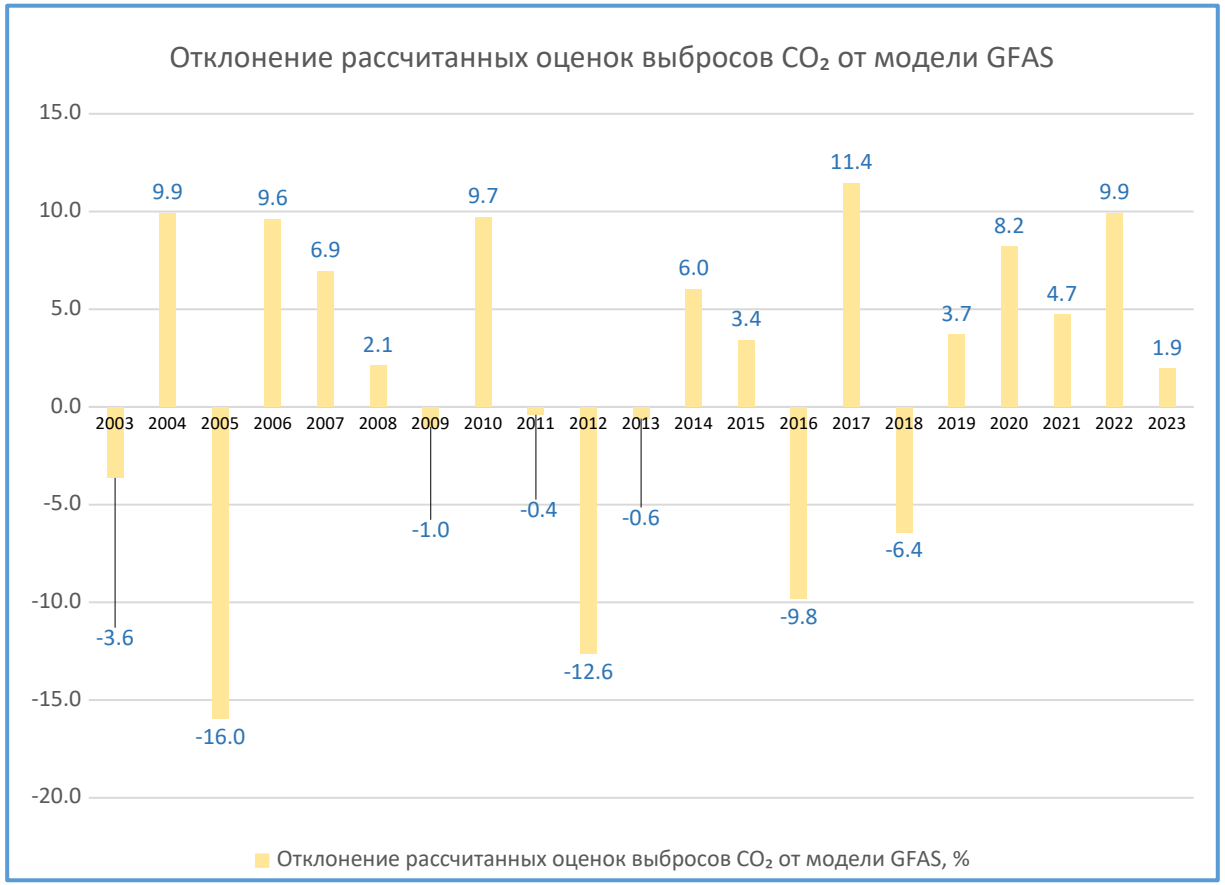


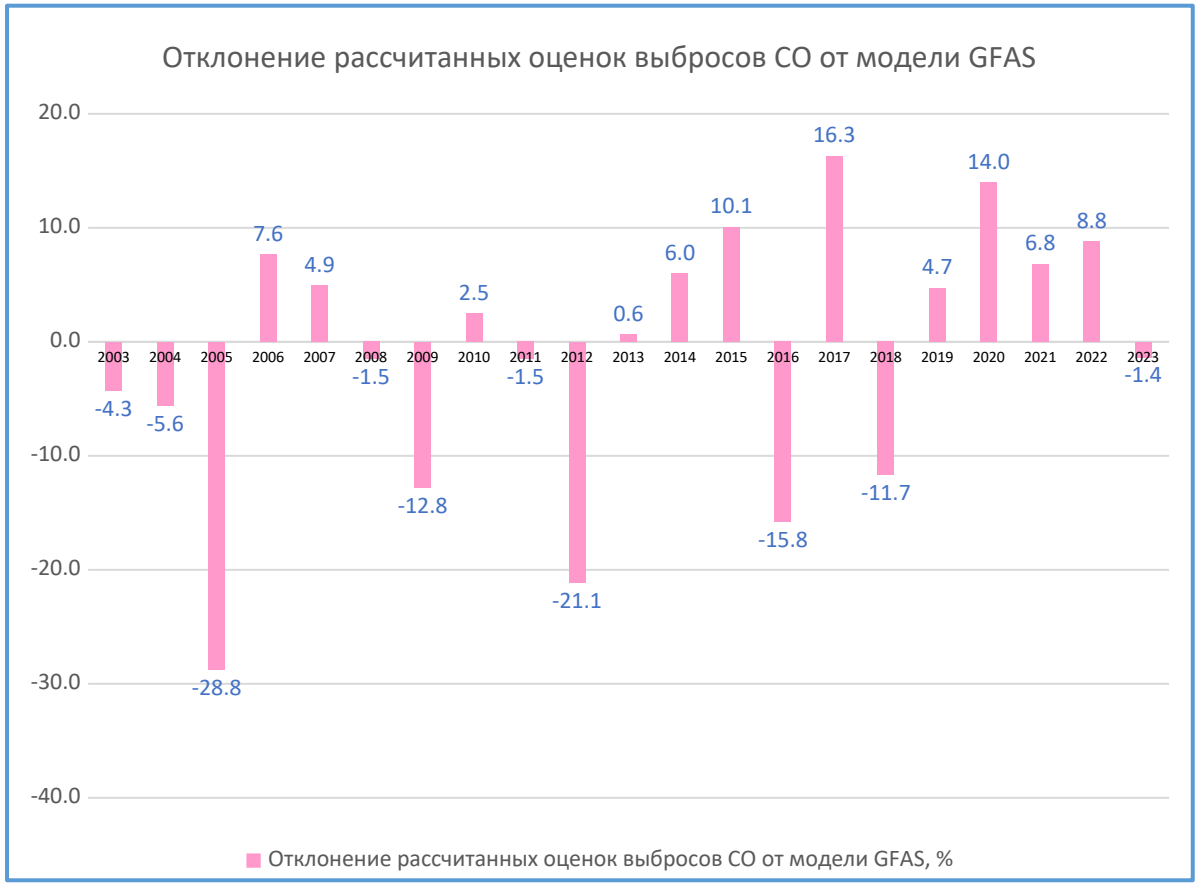


Расчет выбросов

- Для оценки выбросов по методике GFAS используется формула: $E = DM*EF$. Используются значения факторов выбросов $EF_{CO_2} = 1627\ \frac{г}{кг}$ и $EF_{CO} = 125\ \frac{г}{кг}$.

- Среднее абсолютное отклонение выбросов от GFAS: для CO_2 – 6,5 % и для CO – 8,9 %.





Ограничения методики

- результаты зависят от качества данных GFED и GFAS;
- распределение DM и FRP по типам растительности внутри пикселя выполняется через площадные доли;
- факторы выбросов EF требуют отдельного анализа по типам растительности и условиям горения;
- аномальные годы требуют дополнительного анализа;
- отдельные типы растительности, такие как луга, вносят дополнительные расхождения в оценку сожженной биомассы, что нуждается в дальнейшем исследовании.

Заключение

1. В ходе работы реализована методика пространственного сопоставления GFED, GFAS и детальной карты растительности РФ, которую впоследствии можно использовать для других задач сопоставления данных с разным разрешением.

2. Общий рассчитанный коэффициент для всех лесных классов составил **1,50 кг/МДж**, что согласуется со значением для класса EFOS (Extratropical Forest on Organic Soil) **1,55 кг/МДж**, используемого в исходной версии GFAS. Это подтверждает достоверность представленного в работе методики сопоставления данных.

3. Рассчитаны коэффициенты пересчёта **β** для разных типов лесной растительности РФ. Полученные значения варьируются от **1,12 (для лиственных лесов) до 1,72 кг/МДж (для хвойных)**, что показывает зависимость связи оценки DM от типа растительного покрова.

4. Применение полученных коэффициентов пересчета позволило провести уточнение интегральных оценок выбросов пирогенных веществ от пожаров, количественно характеризующееся средним отклонением оценок от GFAS. Без учёта аномальных лет **2005, 2012, 2016 и 2018** среднее отклонение DM составило **3,5 %.** При расчёте выбросов получены средние отклонения от GFAS: **6,5 % для CO_2** и **8,9 % для CO**.

5. Перспективы дальнейшей работы связаны с уточнением факторов выбросов EF для различных типов растительности и условий горения, а также с дополнительным анализом аномальных лет, в которых наблюдаются наибольшие расхождения с GFAS.

Апробация результатов исследования

23-я Международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 10–14 ноября 2025 г. Доклад: «Сопоставление полученных по спутниковым данным оценок выбросов от лесных пожаров с данными о типе лесной растительности». Авторы: Мазурина С. М., Кобец Д. А., Лозин Д. В., Матвеев А. М. Доклад опубликован в электронных материалах конференции. ISBN 978-5-00015-073-3, DOI 10.21046/23DZZconf-2025a, с. 391.

Конференция молодых учёных – КМУ 2026, Москва, ИКИ РАН, 22–24 апреля 2026 г. Доклад: «Повышение точности оценок выбросов от лесных пожаров по спутниковым данным на основе информации о типах растительности на территории РФ». Авторы: Мазурина С. М., Кобец Д. А., Лозин Д. В.

XIV Международная школа-семинар «Спутниковые методы и системы исследования Земли», г. Таруса, 25 мая – 1 июня 2026 г. Доклад: «Использование данных о типах растительности на территории РФ для повышения точности оценок выбросов углерода от лесных пожаров по спутниковым наблюдениям». Авторы: Мазурина С. М., Кобец Д. А., Лозин Д. В.

Спасибо за внимание

студентка: Мазурина Серафима Михайловна

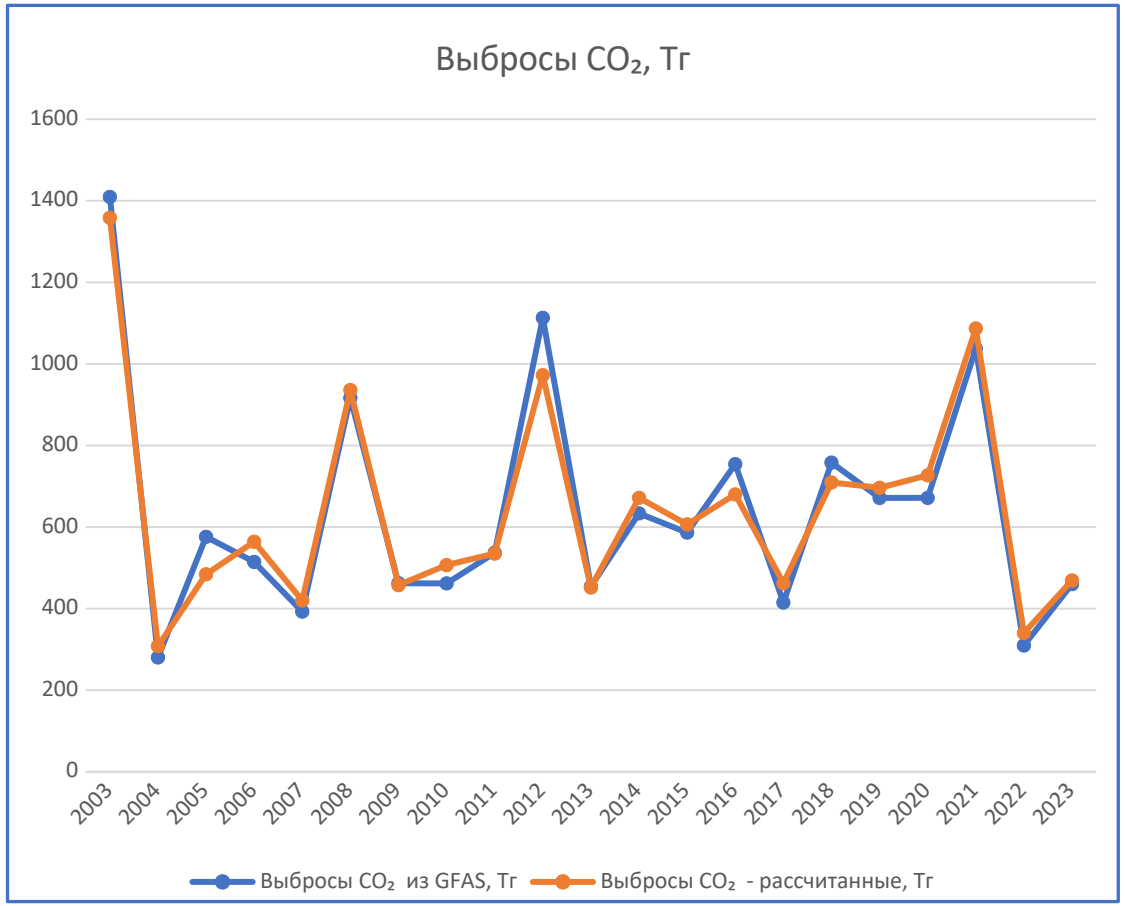
науч. рук.: к.т.н. Кобец Дмитрий Александрович

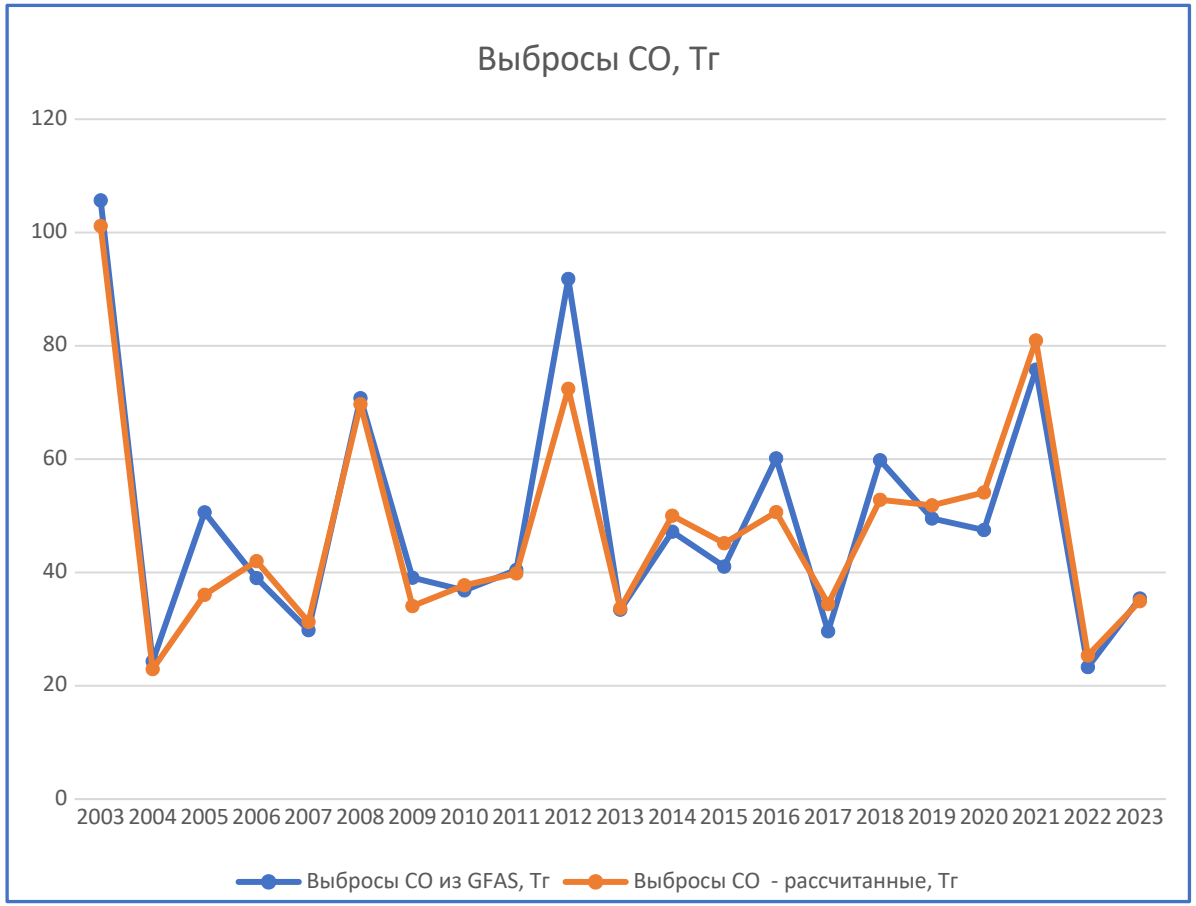
соруk.: к.т.н. Лозин Дмитрий Владиславович

Расчет выбросов

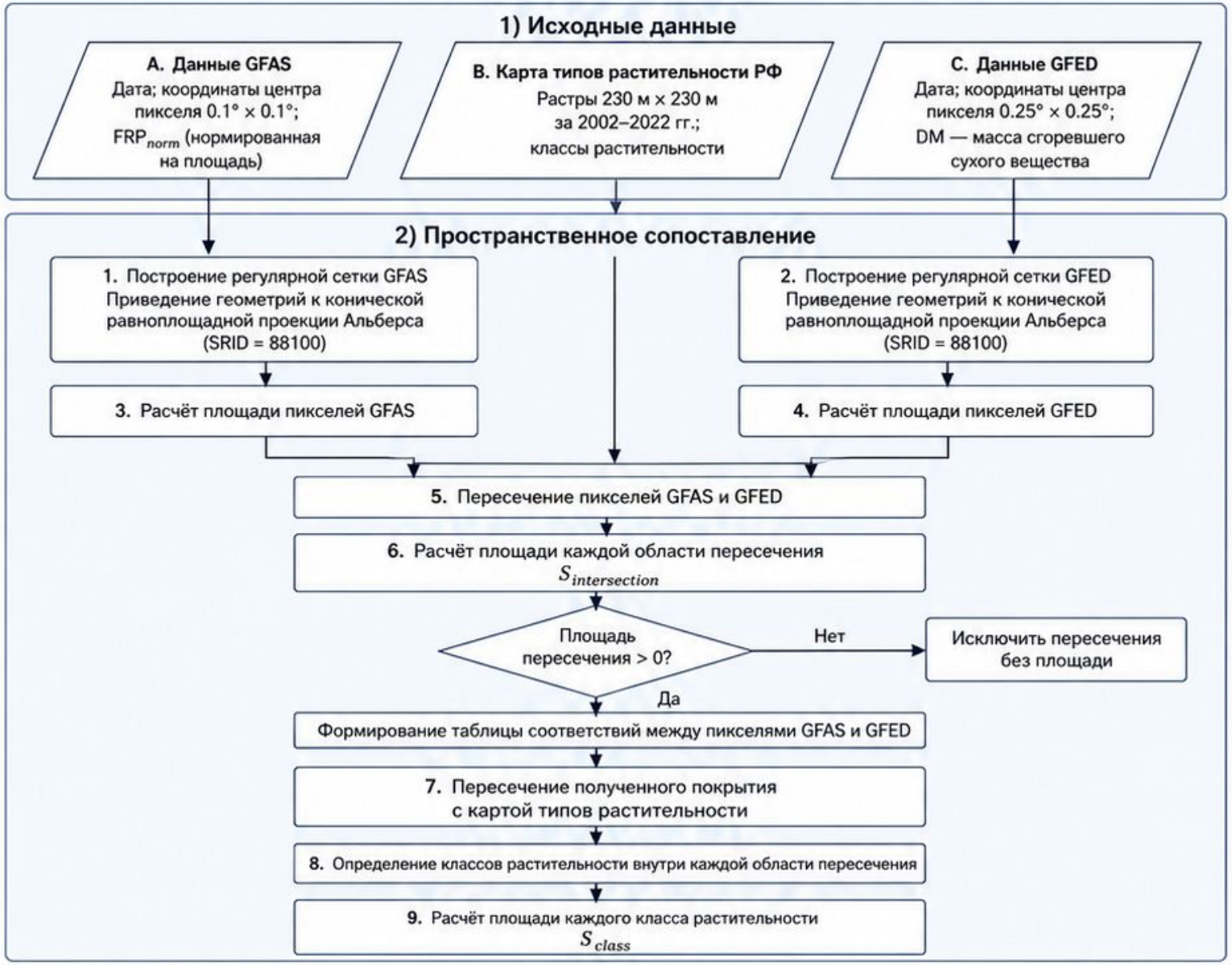
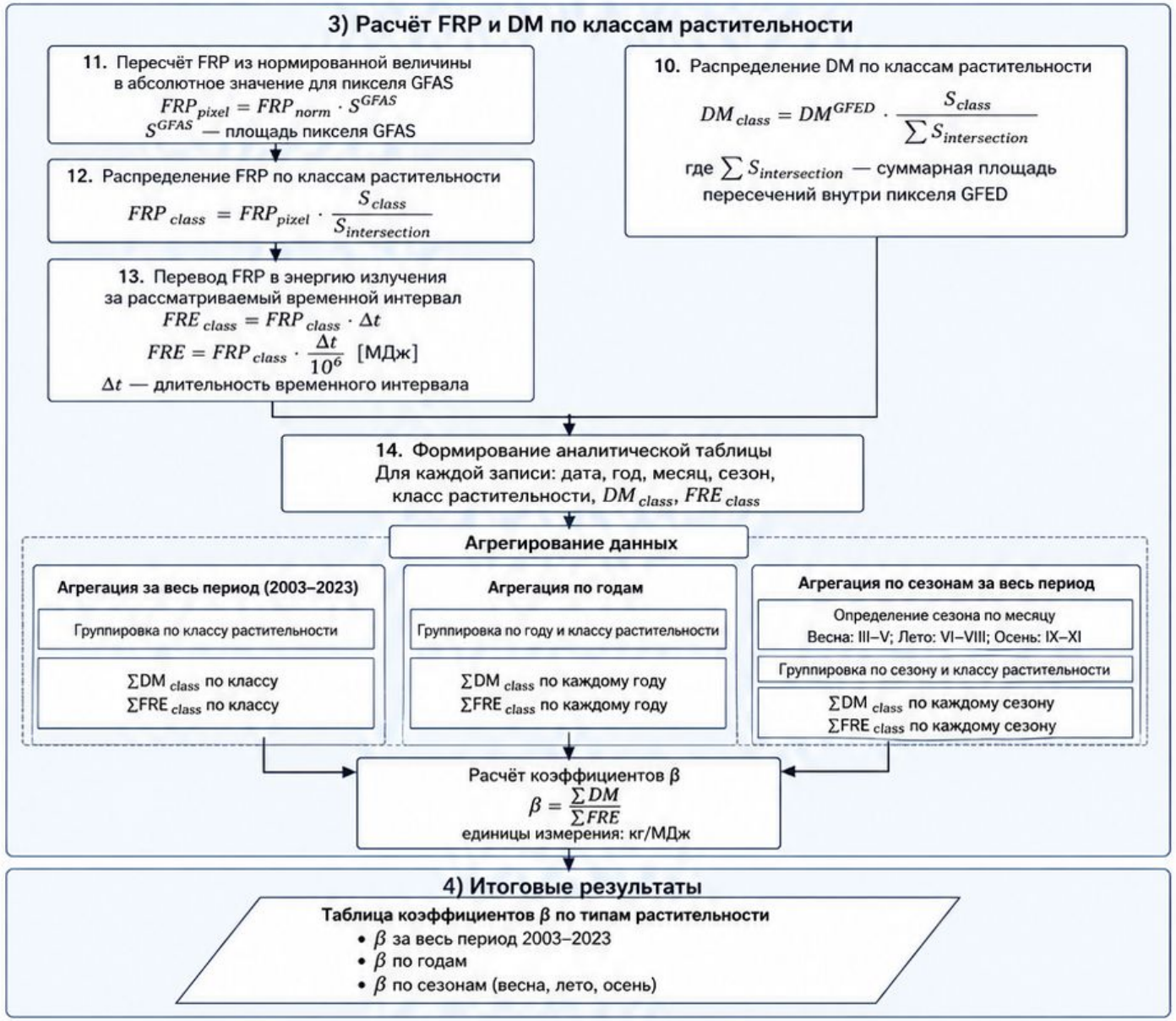
- Для оценки выбросов по методике GFAS используется формула: $E = DM*EF$. Используются значения факторов выбросов $EF_{CO_2} = 1627\ \frac{г}{кг}$ и $EF_{CO} = 125\ \frac{г}{кг}$.

- Среднее абсолютное отклонение выбросов от GFAS: для CO_2 – 6,5 % и для CO – 8,9 %.





Подробная схема работы



Подробная схема работы