

Оценка повреждений российских лесов пожарами в 21 веке на основе анализа интенсивности горения по данным приборов MODIS

Лозин Д.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Стыценко Ф.В.

Институт Космических Исследований РАН

Актуальность работы и основные задачи

- Одной из важных характеристик лесных пожаров является их летальность – отношение площади погибших лесов к общей площади, пройденной пожарами на исследуемой территории
- Оценки повреждений по данным интенсивности горения позволяют учесть пожары, для которых не было определено видимых изменений
- В настоящей работе представлена информация о наблюдавшихся в 21 веке различных особенностях долговременной динамики повреждений лесов пожарами, в том числе наблюдаемой летальности. При этом проанализированы данные для различных типов лесов и обсуждены особенности сезонной динамики изучаемых процессов.



Лесной пожар в сибирской тайге

Оценка интенсивности горения

Для анализа интегральной мощности теплоизлучения от пожаров растительности используются дистанционные данные, в частности, съемка аппаратурой Terra/MODIS. На их основе рассчитывается показатель **интенсивности горения пожара (Fire Radiative Power):**

$$FRP \approx \frac{A_{pix} \sigma}{a \tau_4} (L_4 - \bar{L}_4)$$

где L_4 - энергетическая яркость термически активного пиксела (цели) в канале 21 радиометра MODIS $\lambda \approx 4$ мкм,
 \bar{L}_4 - энергетическая яркость фона в том же спектральном диапазоне,
 A_{pix} - площадь пикселя MODIS (варьируется как функция угла сканирования),
 σ - постоянная Стефана-Больцмана ($5.6704 * 10^{-8}$ Вт * м⁻²К⁻⁴),
 τ_4 - коэффициент прохождения 21 канала MODIS в атмосфере,
 a - эмпирическая постоянная, зависящая от прибора.
Для MODIS $a = 3.0 * 10^{-9}$ Вт * м⁻²ср⁻¹мкм⁻¹К⁻⁴.

Giglio L., Schroeder W., Justice C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products

Оценка степени повреждения лесного покрова

Степень повреждения лесов характеризуется величиной Средневзвешенной Категории Состояния – СКС.

Установлена зависимость между наземными оценками биомассы погибших от пожаров лесов и спутниковыми измерениями значений вегетационного индекса RdSWVI:

$$СКС = a * RdSWVI + b$$

Классы СКС:

- 1 – здоровое насаждение,
- 2 – ослабленное,
- 3 – сильно ослабленное,
- 4 – усыхающее,**
- 5 – погибшие.**

Ф.В. Стыценко, С.А. Барталев, В.А. Егоров, Е.А. Лулян
Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS

Используемые данные



ЦКП «ИКИ-Мониторинг»



FIRMS

Fire Information for Resource Management System

- БД горячих точек и «пожаров» (объединений горячих точек) сформирована на основе данных Collection 6 MODIS Active Fire/Hotspot Data в рамках Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». Информация, хранящаяся в БД очищена от горячих точек, причиной которых не являются пожары.
- Постпожарные данные о повреждениях лесного покрова на территории РФ с 2006 года брались из БД, разработанной в ИКИ РАН, доступ к которой реализован в рамках Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг». Данные представляют собой набор пикселей размером в 230 м, каждому из которых сопоставлена средневзвешенная категория состояния (СКС).
- Информация о преобладающем типе лесного покрова бралась из ежегодно обновляемого ряда карт по всей территории Российской Федерации, так же разработанной в ИКИ.

Определение доли погибшей растительности внутри пиксела по FRPS

Таблица 1. Среднее FRPS для каждого класса СКС по данным с 2006 по 2021 г.

СКС	Среднее FRPS (МВт/км ²)
1(+2)	31,4
3	37,8
4	56,4
5	117,0

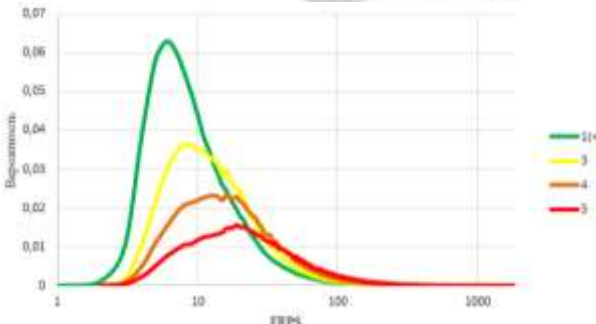


Рис. 2 – Распределение FRPS, сопоставленных с разными классами СКС

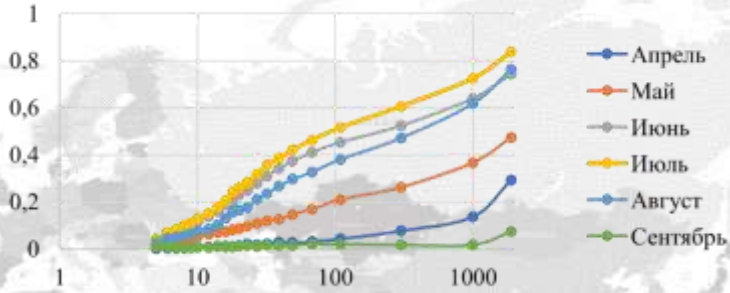


Рис. 1 – Вероятность гибели леса внутри пикселя от FRPS для разных месяцев возникновения пожаров (для хвойных листопадных лесов)

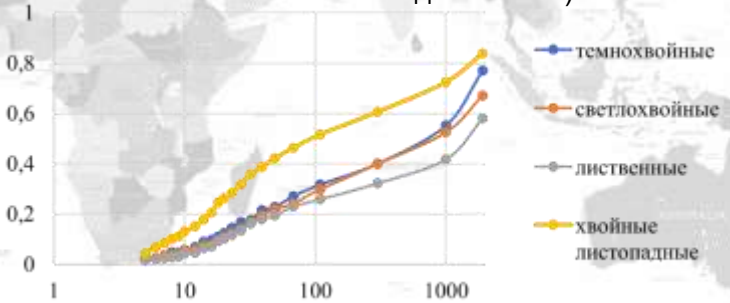
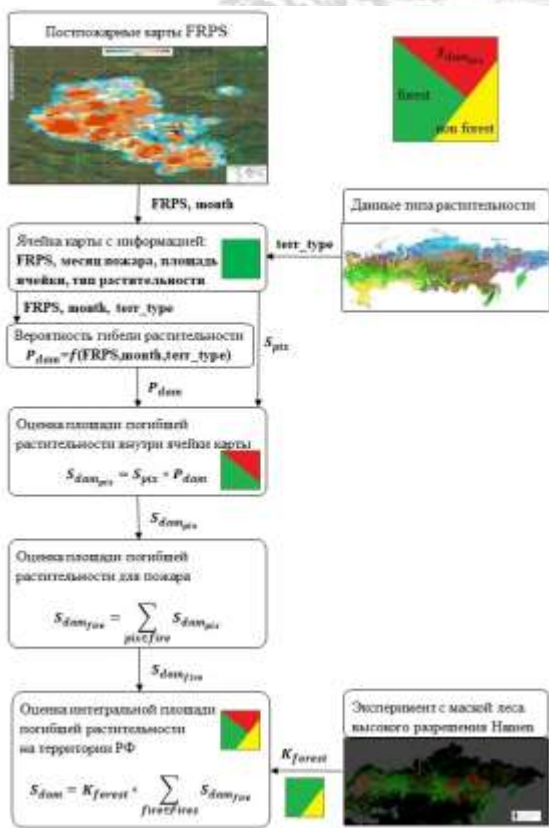


Рис. 3 – Вероятность гибели леса внутри пикселя от FRPS для разных типов растительности, на которых проходил пожар

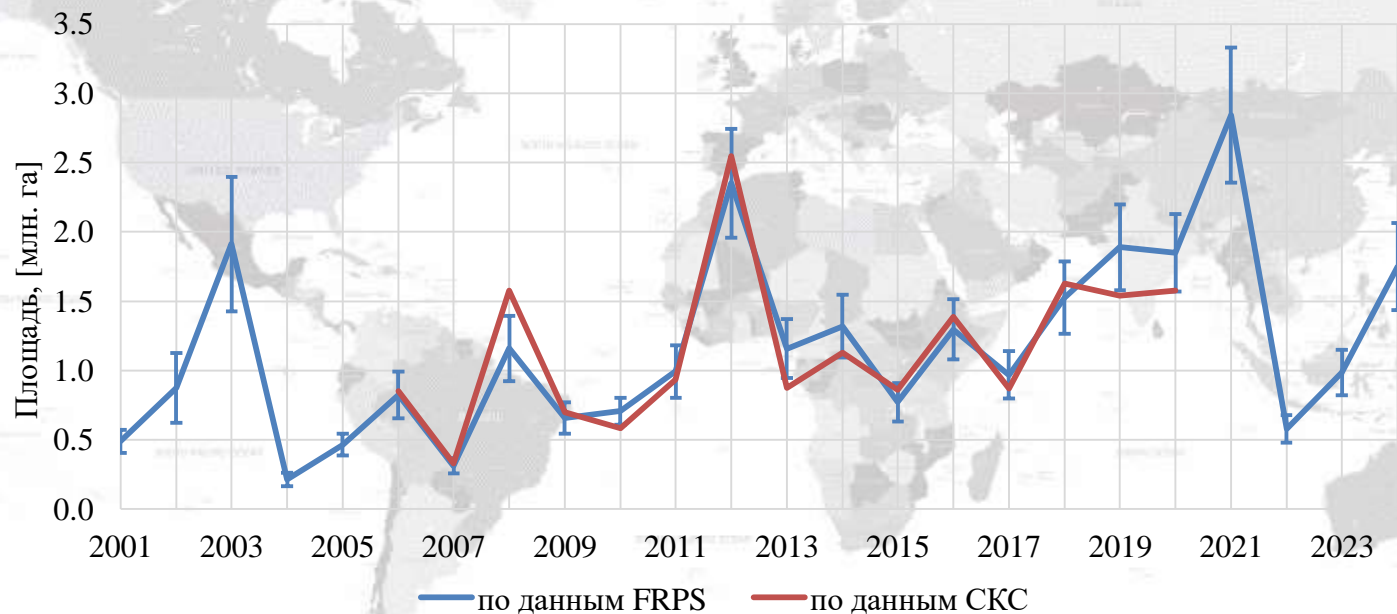
Схема оперативной оценки гибели лесов от пожаров на основе данных об интенсивности горения



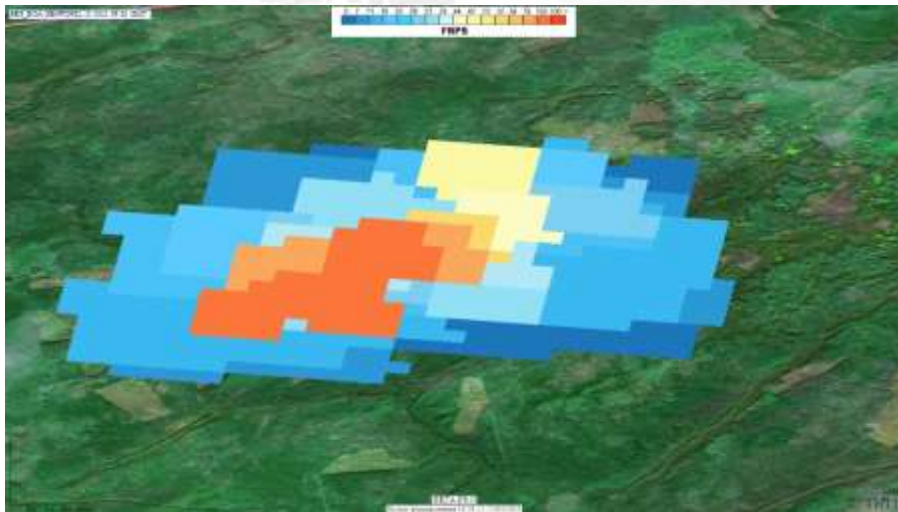
- Повреждения лесов пожарами зависят от интенсивности, количественным критерием которой, в том числе является и индекс FRPS.
- Подход, связанный с попыткой нахождения некоего порога FRPS, после которого наблюдается гибель лесов, не является оправданным, поскольку гибель лесов (пусть и в различных процентах) наблюдается практически при любых значениях FRPS.
- Зависимость вероятности гибели лесов от наблюдаемых FRPS существенно зависит от сезонности и типов лесного покрова в которых развиваются пожары.

Только при учете всех этих факторов можно создать схему оперативной оценки гибели лесов от пожаров на основе анализа интенсивности горения.

Сравнение интегральных оценок площадей погибших лесов на территории РФ (метод FRPS и метод с применением предварительной коррекции)



Корреляция поспожарных карт $\max FRPS$ и изображений гарей на данных высокого разрешения



Постпожарная карта $\max FRPS$



Изображение гары (площади пройденной огнем) на данных прибора MSI (спутники Sentinel 2)

Пиксели с низкими FRPS в основном выходят за границы гары

Сравнение данных о FRPS пожаров с контурами гарей полученными по данным высокого разрешения



В качестве источника данных уточненных контуров пожаров использовалась БД контуров, доступная в рамках ЦКП ИКИ-Мониторинг

Контура строились с использованием данных высокого разрешения Landsat TM/ETM/OLI 30м и Sentinel-2 MSI 10м

Было использовано 5633 контуров гарей, образовавшихся после пожаров на территории РФ с 2009 по 2019 год

В анализируемых гарях было 2,5 млн пикселей постпожарных карт maxFRPS из них 1,5 млн пикселей в которых горение наблюдалось многократно

Построение зависимости между интенсивностью горения и субпиксельной площадью, пройденной пожаром

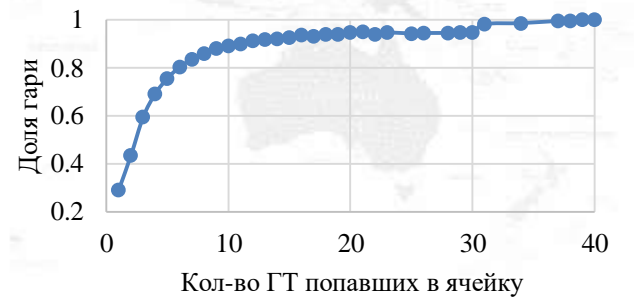
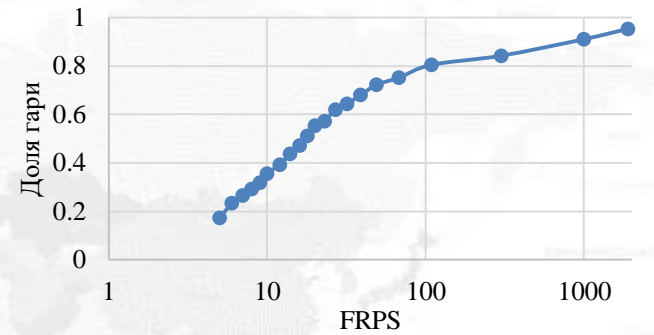


Формирование статистики для каждой ячейки карты max FRPS

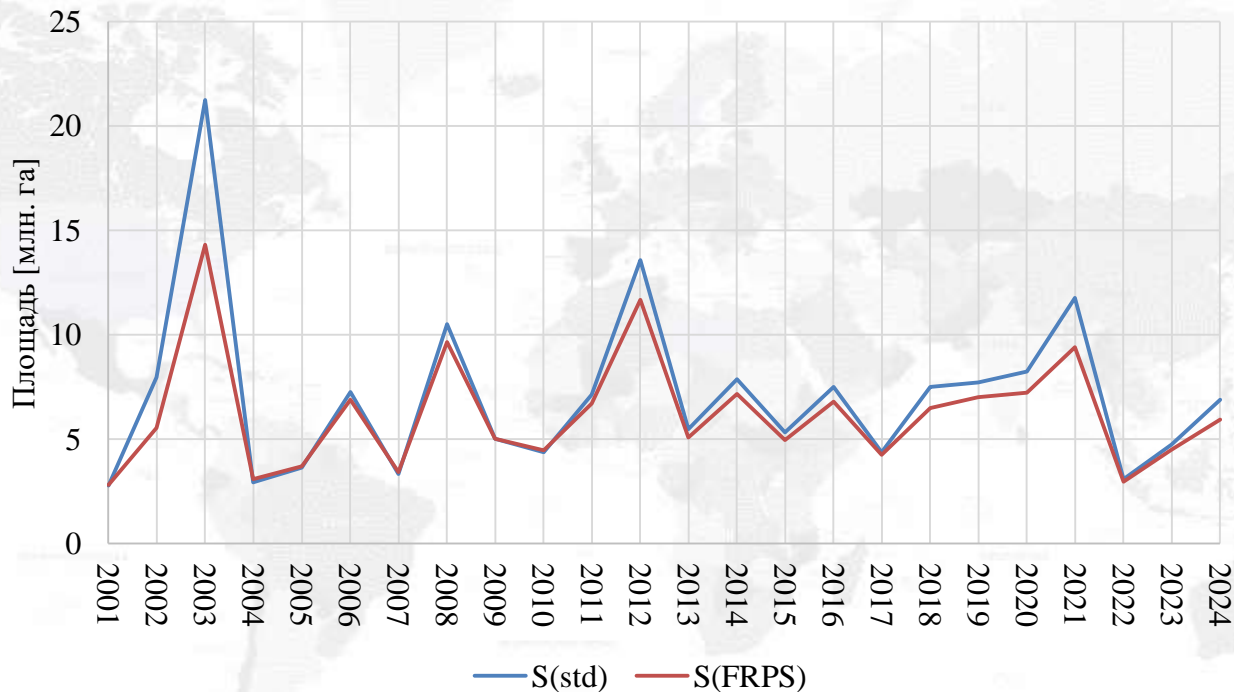
- max FRPS
- N - количество ГТ MODIS, попавших в ячейку за время действия пожара
- доля ячейки, покрытая областью гарей по высокому разрешению



Формирование отношения доли гари внутри ячейки к FRPS и N

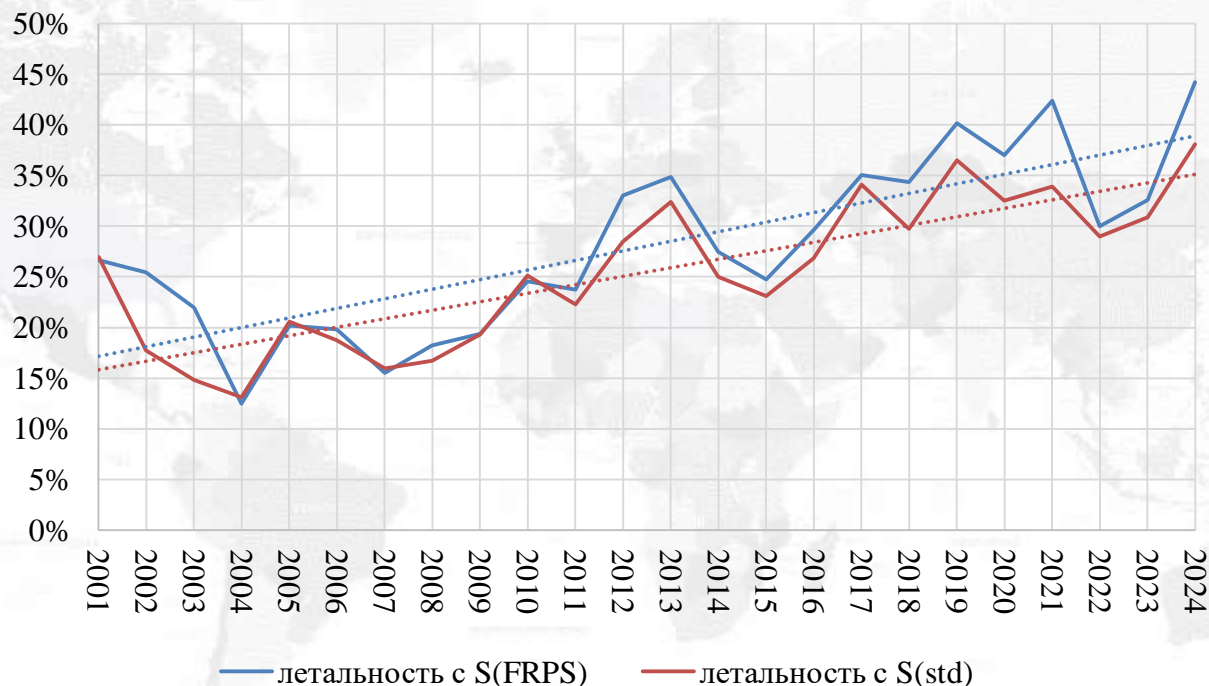
$$S_{\text{гари}} = \max(f(\text{FRPS}), f(N))$$


Динамика площадей пожаров по данным, полученных на основе детектированных «горячих точек» ($S(std)^*$) и по предложенной схеме на основе информации о FRPS и $N(S(FRPS))$ на территории РФ



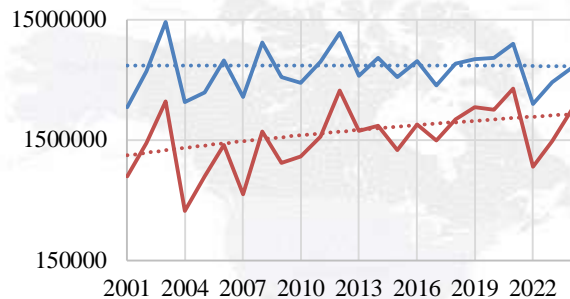
*Е. А. Лупян и др. 2021 Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 178–192

Динамика летальности пожаров по двум методам оценки площади пройденной огнем ($S(std)^*$ и $S(FRPS)$) на территории РФ

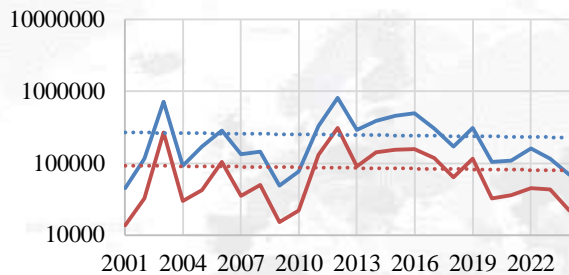


*Е. А. Лупян и др. 2021 Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS
Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 178–192

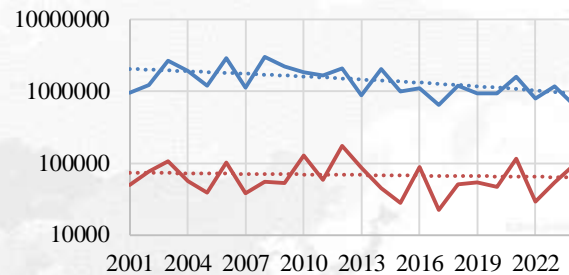
Динамика площади, пройденной огнем (синяя линия) и площади усыхающей и погибшей растительности (красная линия) для разных типов лесной растительности на территории РФ



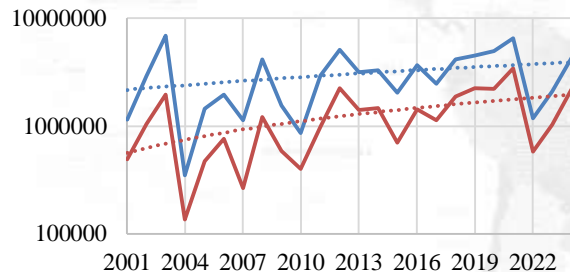
Все леса



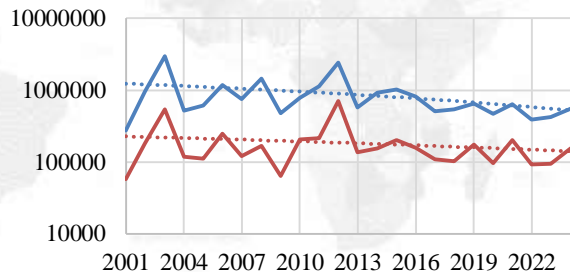
Темнохвойные



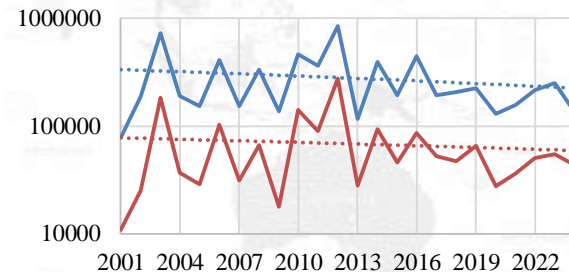
Лиственные



Хвойные листопадные



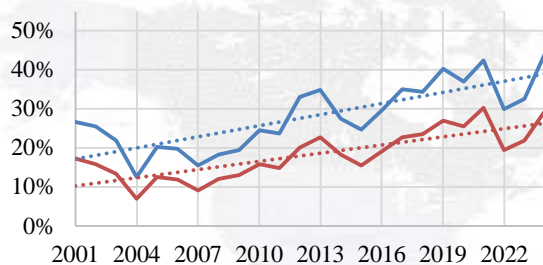
Светлохвойные



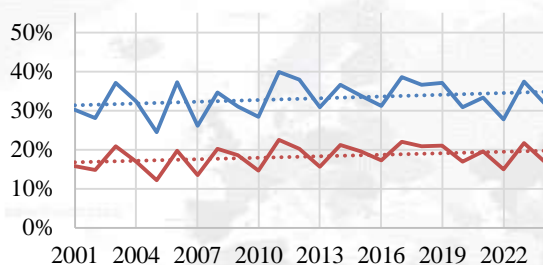
Смешанные

— S(FRPS) — S(4+5) СКС

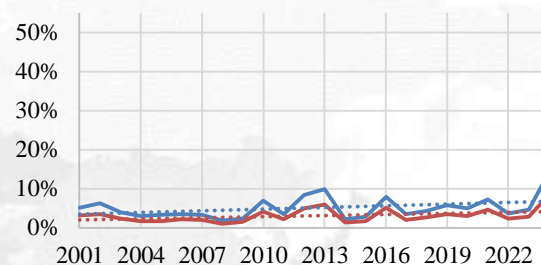
Динамика летальности пожаров для разных типов лесной растительности на территории РФ (разное определение погибшей растительности, синяя линия – 4 и 5 СКС, красная линия 5 СКС)



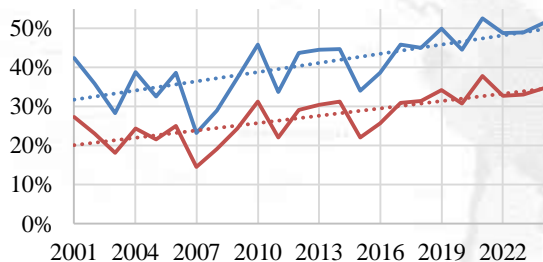
Все леса



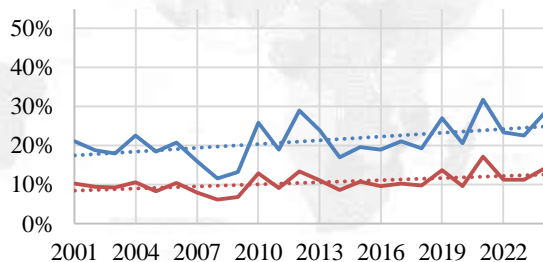
Темнохвойные



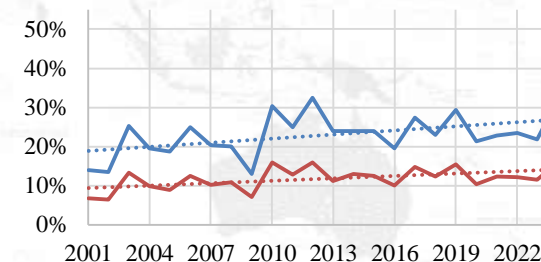
Лиственные



Хвойные листопадные



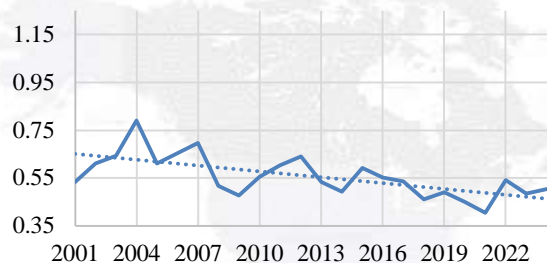
Светлохвойные



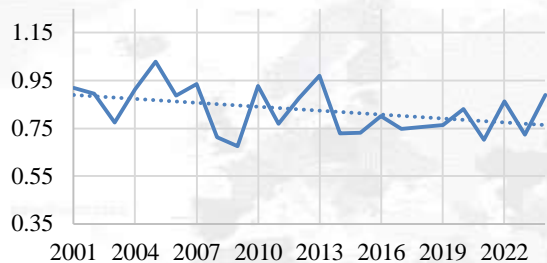
Смешанные

— S(4+5) СКС/S(FRPS) — S(5) СКС/S(FRPS)

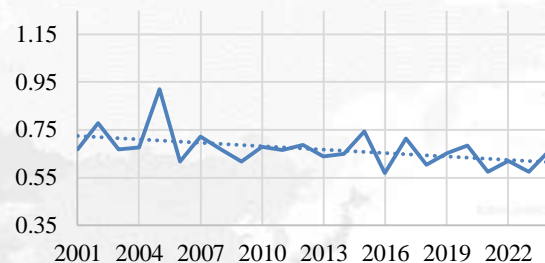
Динамика отношения площади усыхающей к площади погибшей растительности для разных типов на территории РФ



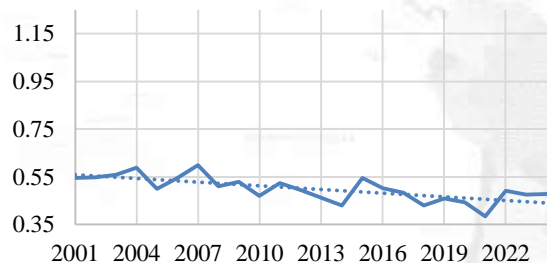
Все леса



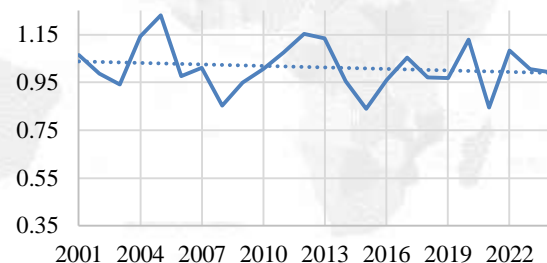
Темнохвойные



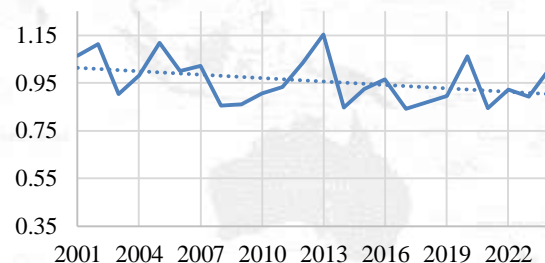
Лиственные



Хвойные листопадные



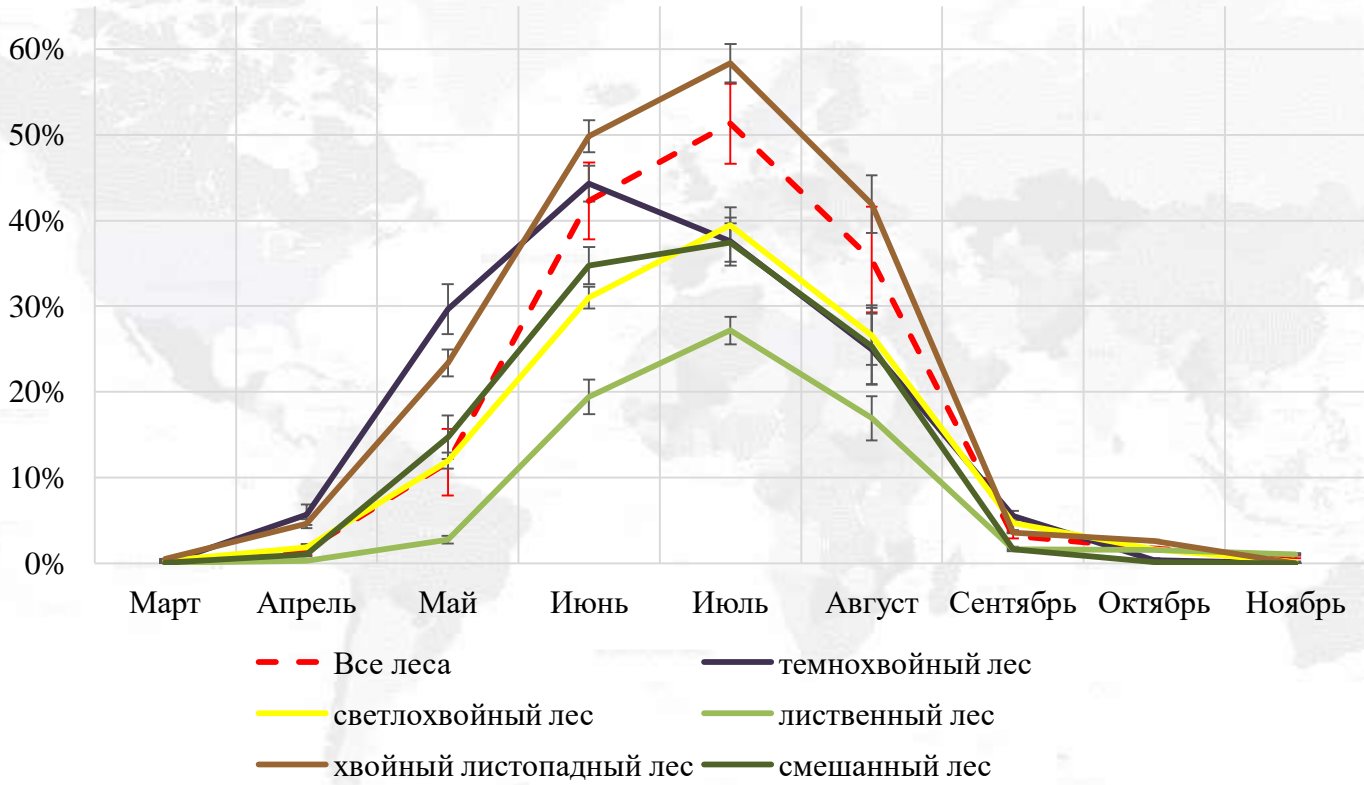
Светлохвойные



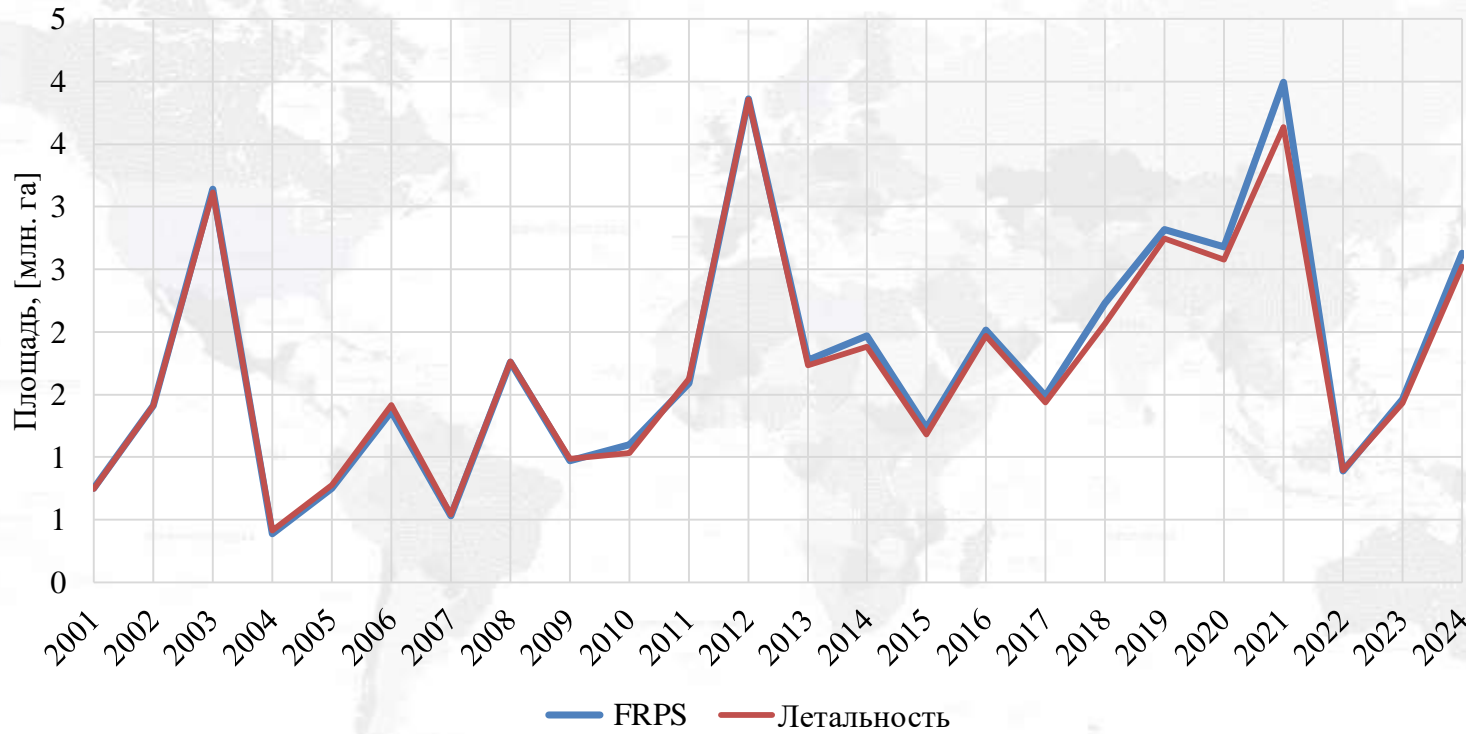
Смешанные

— $S(4 \text{ СКС})/S(5 \text{ СКС})$

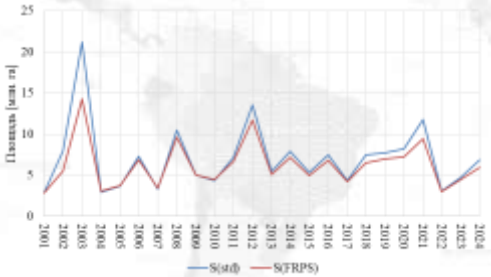
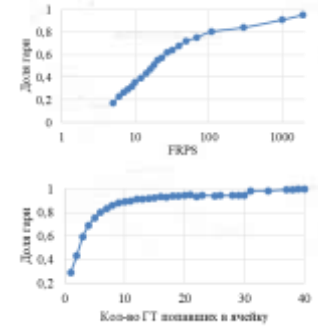
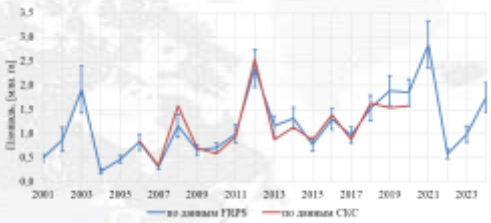
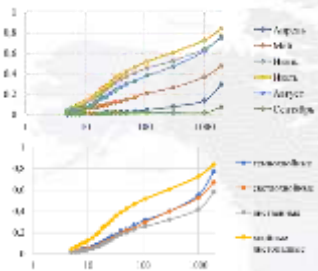
Среднемноголетнее распределение летальности пожаров по месяцам для разных типов лесной растительности



Сравнение интегральной площади усыхающей и погибшей растительности на территории РФ посчитанной по разным методам



Результаты



Все леса



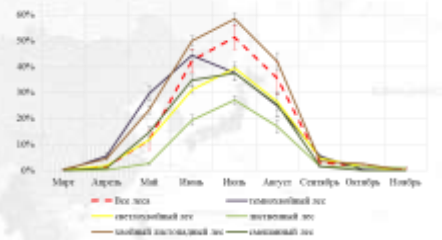
Хвойные листопадные



Темнохвойные



Все леса



Спасибо за внимание!

<http://smiswww.iki.rssi.ru>

Лозин Дмитрий Владиславович
lozin@d902.iki.rssi.ru

**Отдел «Технологий
спутникового
Мониторинга»**

