

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И СЕЗОНА
ПОЖАРА НА СТЕПЕНЬ ПОСТПОЖАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ ГИБЕЛИ ЛЕСА НА ОСНОВЕ
ДАННЫХ ОБ ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРЕНИЯ ПОЖАРОВ**

Лозин Д.В., Балашов И.В., Лупян Е.А.

Институт космических Исследований РАН

Двадцатая международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
14 - 18 ноября 2022 г., ИКИ РАН

ПРОБЛЕМА И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

- Развитие технологий ДЗЗ позволяет проводить полномасштабные исследования пространственно-временных особенностей **постпожарных повреждений лесов России**, в том числе их **взаимосвязь с типом лесной территории и сезоном пожара**
- В работе «Спутниковая оценка гибели древостоев от пожаров по данным о сезонном распределении пройденной огнем площади» С.А. Барталёва и Ф.В. Стыценко проводится изучение зависимости **вероятности гибели лесного покрова от времени возникновения и действия огня в течение сезона**. Гибель леса оценивалась на **основе анализа постпожарных изменений**
- Технология оперативной оценки повреждений лесного покрова **на основе данных FRP** позволяет воспроизвести изучаемые зависимости, используя другой ряд данных. Таким образом имеется возможность провести **валидацию** полученных ранее результатов
- В настоящей работе изучается **межгодовая и сезонная динамика распределения степени повреждения лесов с использованием технологии оценки гибели леса по FRP**

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРЕНИЯ FIRE RADIATIVE POWER

Для анализа интегральной мощности теплоизлучения от пожаров растительности могут использоваться дистанционные данные, в частности, съемка аппаратурой Terra/MODIS, которой фиксируется радиояркая температура поверхности в диапазоне 4 мкм

$$FRP = 4.34 \times 10^{-19} (T_4^8 - T_{4bg}^8)$$

Kaufman Y.J., Justice C.O.
MODIS ATBD: Fire Products

где T_4 и T_{4bg} – радиояркая температура термически активного пиксела (цели) в канале 21 радиометра MODIS ($\lambda = 3.929\text{--}3.989$ мкм) и фона соответственно

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

Wooster, M., Xu, W., Nightingale, T.
Sentinel-3 SLSTR active fire detection and FRP product: pre-launch algorithm development and performance evaluation using MODIS and ASTER datasets

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 (которая 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 и a - эмпирическая постоянная, зависящая от прибора. Для MODIS $a = 3.0 \times 10^{-9}$ Вт * м⁻²ср⁻¹мкм⁻¹К⁻⁴. τ_4 просто присваивается значение 1, в формулу она включена для правильной атмосферной коррекции в следующем приближении.

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЯДОВ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

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

Вегетационный индекс SWVI

$$CKC = \frac{\sum_{i=1}^4 iK_i + 5 \sum_{i=5}^6 K_i}{\sum_{i=1}^6 K_i}$$

Средневзвешенная Категория Состояния

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

Классы СКС

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

Вегетационный индекс RdSWVI

$$CKC = a * RdSWVI + b$$

СКС лесов на основе значений *RdSWVI*

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

R_{nir} и R_{swir} значения коэффициента отражения поверхности в ближнем и среднем ИК диапазонах длин волн соответственно.
 K_i – число деревьев i -ой категории состояния деревьев согласно лесопатологической классификации, включающей оценку степени дефолиации и дехромации крон.

$SWVI_{pre}$ - значение индекса, полученное по изображению на заданную дату в год предшествующий пожару, а $SWVI_{post}$ - значение индекса после воздействия огня.

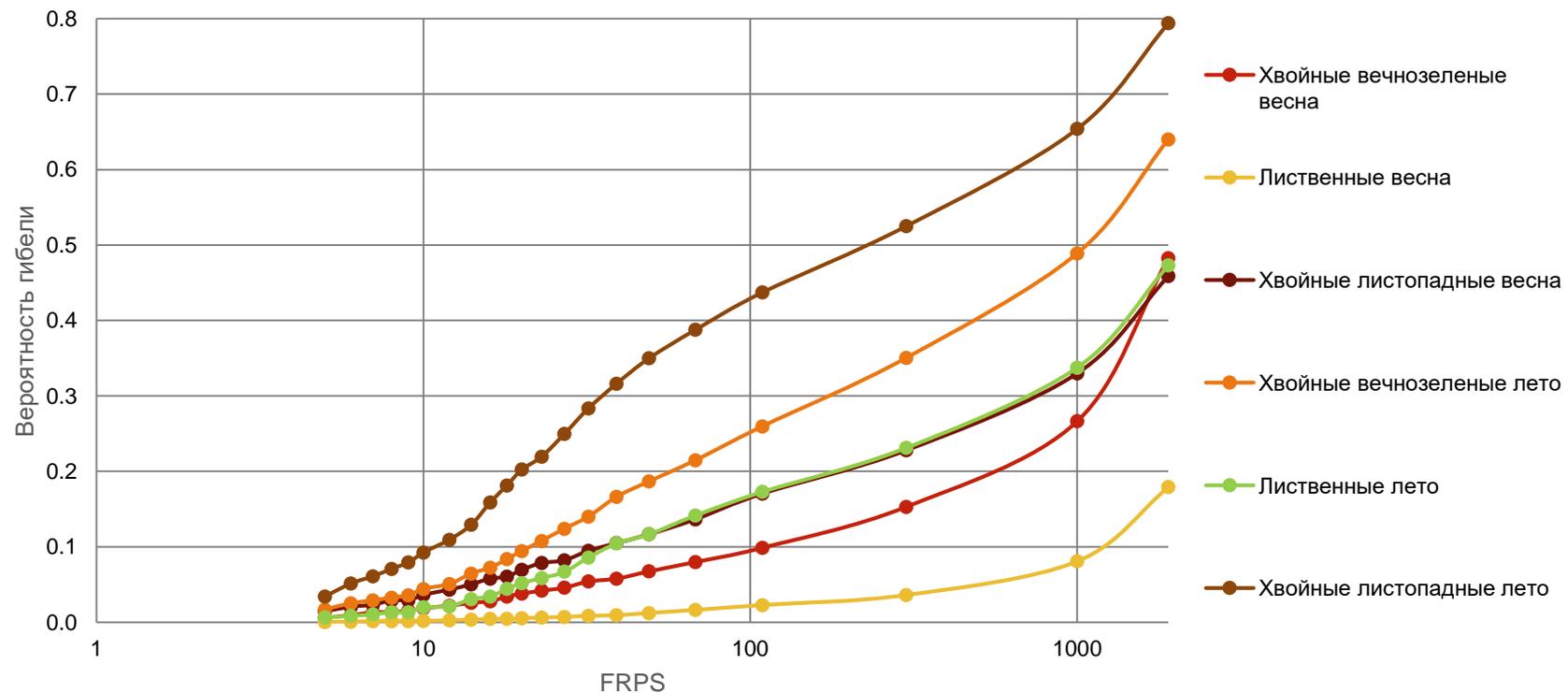
Коэффициенты a и b определяются экспериментально на основе совместного анализа данных спутниковых наблюдений и наземных лесопатологических обследований.

ПОСТРОЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ГОРЕНИЯ И СТЕПЕНЬЮ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА



ВЕРОЯТНОСТЬ ГИБЕЛИ ЛЕСА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ FRPS

(ДЛЯ ПОЖАРОВ НА РАЗНЫХ ТИПАХ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ)



Зависимости вероятности гибели лесов от интенсивности пожаров существенно зависят от типов лесов по которым распространяются пожары и сезона пожара

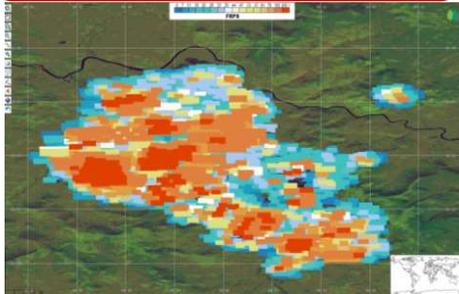
СХЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЛЕСОВ ПО ДАННЫМ FRPS

Данные типа растительности



Тип растительности, на котором происходил пожар

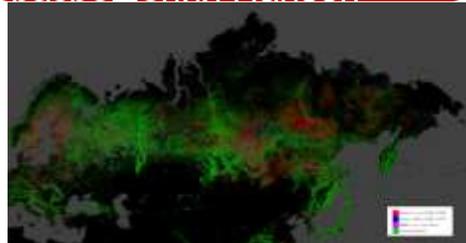
Постпожарные карты FRPS



FRPS
Месяц наблюдаемого пожара

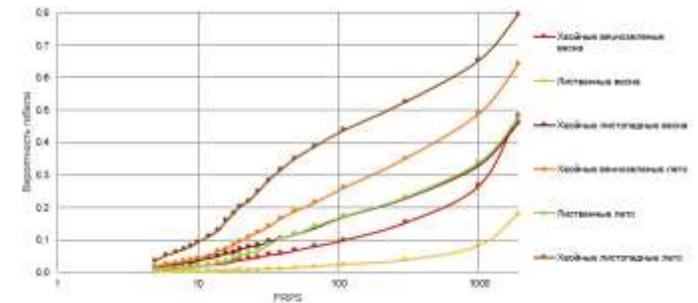
Spix – площадь ячейки карты FRPS

Эксперимент с маской леса высокого разрешения Hansen



Kforest=0.859 – коэффициент коррекции содержания растительности в пикселе среднего разрешения

- Выбор кривой вероятности по типу растительности и месяцу пожара
- Получение Pdam – значение выбранной кривой вероятности в точке с соответствующим FRPS

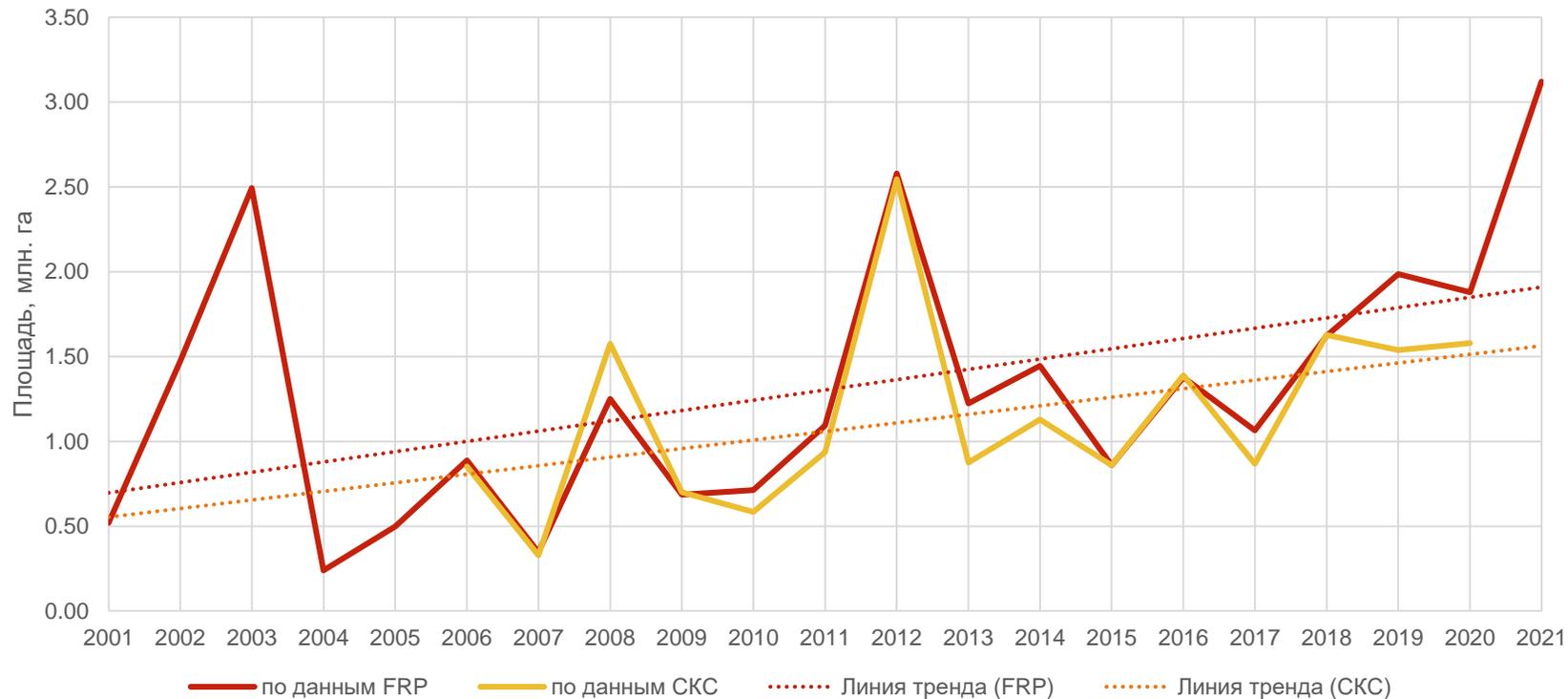


$$\mathbf{Sdam = Spix * Pdam * Kforest}$$

Оценка площади погибшей растительности внутри ячейки карты FRPS

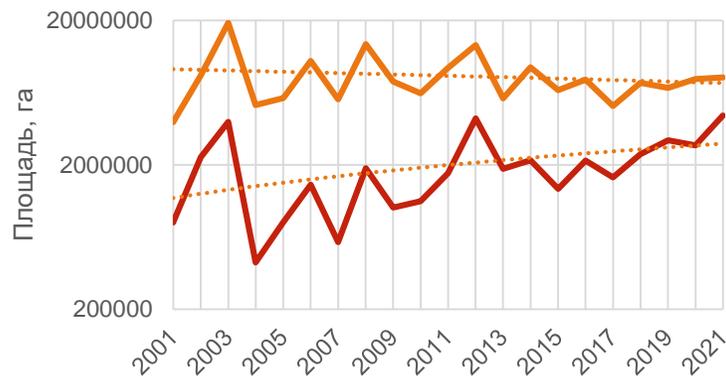
СРАВНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПЛОЩАДЕЙ ПОГИБШИХ ЛЕСОВ НА ТЕРРИТОРИИ РФ ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОСТПОЖАРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И АНАЛИЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЖАРОВ (FRPS)

Площадь погибших от пожаров лесов на территории РФ



СРАВНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПЛОЩАДЕЙ ЗДОРОВЫХ И ОСЛАБЛЕННЫХ ЛЕСОВ С ПЛОЩАДЬЮ УСЫХАЮЩИХ И ПОГИБШИХ ЛЕСОВ НА ТЕРРИТОРИИ РФ ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЖАРОВ (FRPS) ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

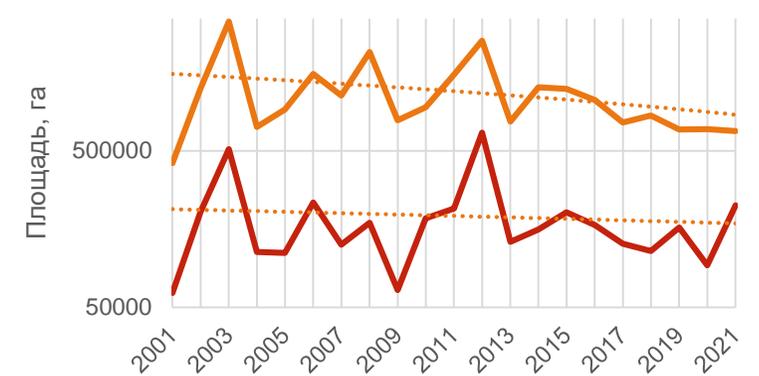
Все леса



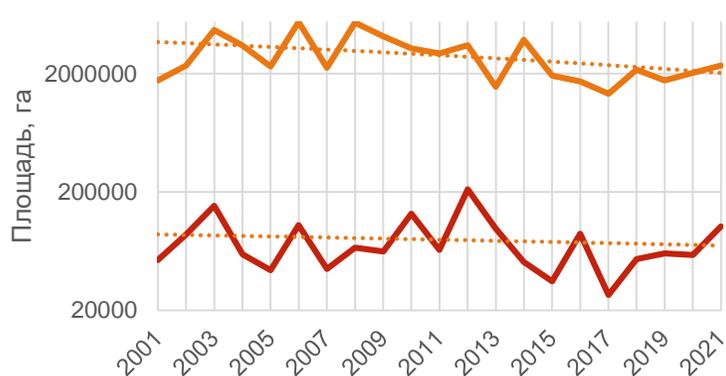
Темнохвойные леса



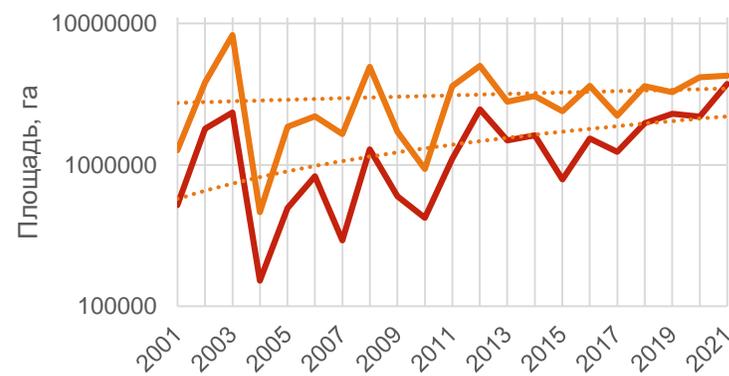
Светлохвойные леса



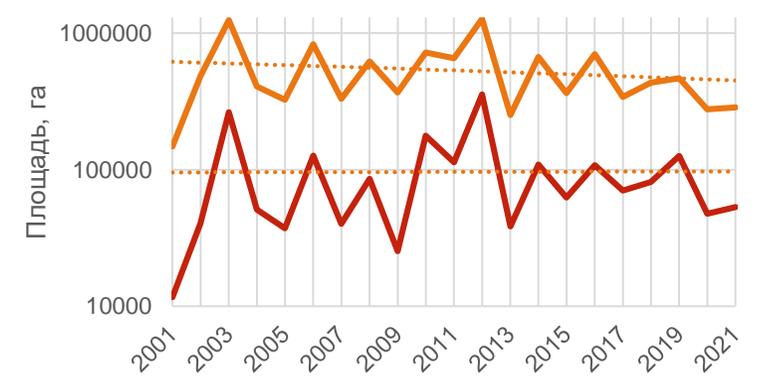
Лиственные леса



Хвойные листопадные леса



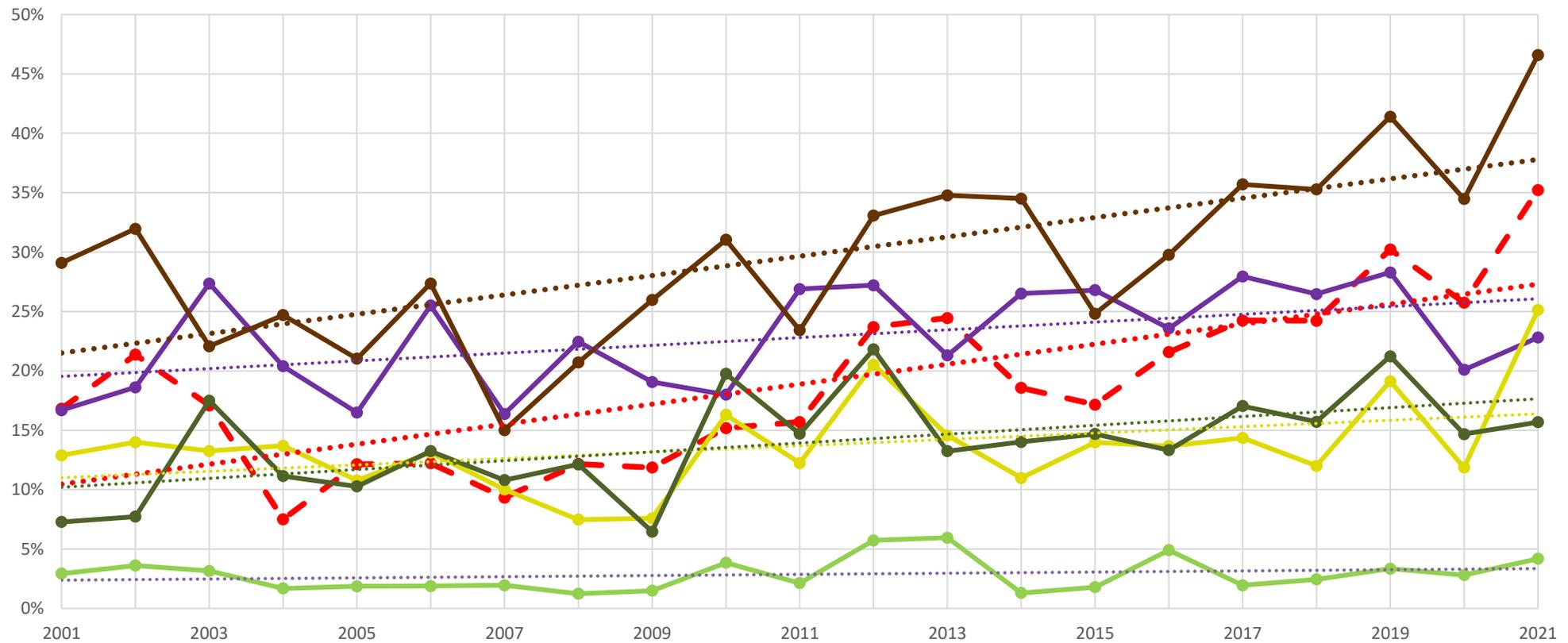
Смешанные леса



— здоровые и ослабленные — усыхающие и погибшие

ДИНАМИКА ЛЕТАЛЬНОСТИ ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ РОССИИ

Летальность лесов



Темнохвойный лес

Светлохвойный лес

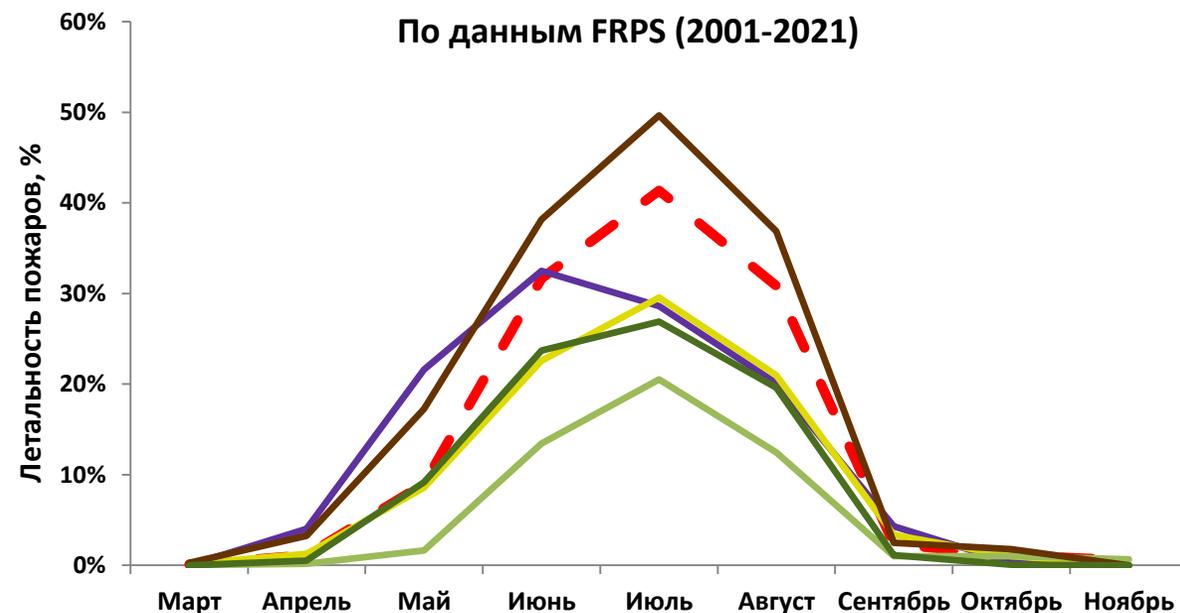
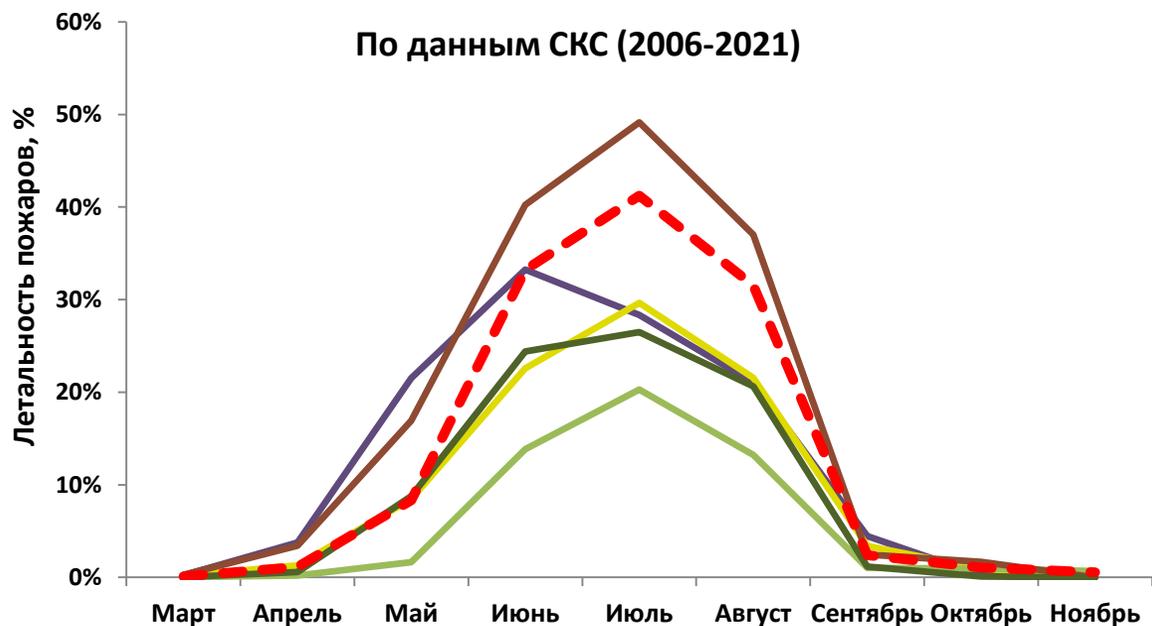
Лиственный лес

Хвойный листопадный лес

Смешанный лес

Все леса

СРАВНЕНИЕ СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИХ СЕЗОННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЛЕТАЛЬНОСТИ ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ РОССИИ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РАЗНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ



— Темнохвойный лес — Светлохвойный лес — Лиственный лес — Хвойный листопадный лес — Смешанный лес - - - Все леса

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЗОНОВ НИЗКОЙ, СРЕДНЕЙ И ВЫСОКОЙ ГОРИМОСТИ

| Год | Площадь, пройденная пожарами на территории РФ (100тыс. га) | | | | | Отношение площади за год к средней за все время наблюдений | | | | |
|----------------|--|--------------|---------------|--------------|------------------------|--|--------------|---------------|------------|------------------------|
| | Все леса | Темнохвойные | Светлохвойные | Лиственные | Хвойные листопадные | Все леса | Темнохвойные | Светлохвойные | Лиственные | Хвойные листопадные |
| 2001 | 47,45 | 0,87 | 4,79 | 18,06 | 17,87 | 0,46 | 0,20 | 0,34 | 0,62 | 0,40 |
| 2002 | 106,29 | 2,99 | 14,54 | 24,24 | 56,35 | 1,03 | 0,69 | 1,04 | 0,83 | 1,25 |
| 2003 | 232,04 | 14,75 | 38,57 | 48,13 | 106,17 | 2,26 | 3,40 | 2,77 | 1,64 | 2,36 |
| 2004 | 56,15 | 1,70 | 8,23 | 34,97 | 6,16 | 0,55 | 0,39 | 0,59 | 1,19 | 0,14 |
| 2005 | 66,01 | 2,96 | 10,30 | 23,36 | 23,56 | 0,64 | 0,68 | 0,74 | 0,80 | 0,52 |
| 2006 | 119,44 | 4,42 | 17,82 | 55,36 | 30,32 | 1,16 | 1,02 | 1,28 | 1,89 | 0,67 |
| 2007 | 62,64 | 2,60 | 12,51 | 22,89 | 19,43 | 0,61 | 0,60 | 0,90 | 0,78 | 0,43 |
| 2008 | 155,90 | 2,80 | 23,13 | 54,30 | 62,27 | 1,52 | 0,65 | 1,66 | 1,85 | 1,39 |
| 2009 | 85,52 | 1,15 | 8,46 | 41,95 | 23,12 | 0,83 | 0,26 | 0,61 | 1,43 | 0,51 |
| 2010 | 73,76 | 1,66 | 11,35 | 33,93 | 13,60 | 0,72 | 0,38 | 0,81 | 1,16 | 0,30 |
| 2011 | 111,33 | 5,36 | 17,45 | 30,18 | 47,01 | 1,08 | 1,23 | 1,25 | 1,03 | 1,05 |
| 2012 | 176,98 | 12,13 | 31,75 | 36,77 | 74,82 | 1,72 | 2,80 | 2,28 | 1,25 | 1,67 |
| 2013 | 76,65 | 4,66 | 9,00 | 16,45 | 42,79 | 0,75 | 1,07 | 0,65 | 0,56 | 0,95 |
| 2014 | 116,22 | 5,86 | 14,31 | 39,07 | 46,90 | 1,13 | 1,35 | 1,03 | 1,33 | 1,04 |
| 2015 | 79,59 | 6,51 | 14,46 | 19,48 | 31,81 | 0,77 | 1,50 | 1,04 | 0,66 | 0,71 |
| 2016 | 99,34 | 7,07 | 12,25 | 18,10 | 51,60 | 0,97 | 1,63 | 0,88 | 0,62 | 1,15 |
| 2017 | 67,51 | 4,35 | 8,86 | 13,77 | 34,68 | 0,66 | 1,00 | 0,64 | 0,47 | 0,77 |
| 2018 | 97,92 | 2,49 | 9,54 | 22,08 | 55,73 | 0,95 | 0,57 | 0,68 | 0,75 | 1,24 |
| 2019 | 97,82 | 3,95 | 8,47 | 18,05 | 55,64 | 0,95 | 0,91 | 0,61 | 0,62 | 1,24 |
| 2020 | 105,87 | 1,41 | 7,80 | 20,85 | 63,54 | 1,03 | 0,33 | 0,56 | 0,71 | 1,41 |
| 2021 | 124,52 | 1,42 | 8,92 | 24,38 | 80,01 | 1,21 | 0,33 | 0,64 | 0,83 | 1,78 |
| Средняя | 102,81 | 4,34 | 13,93 | 29,35 | 44,92 | | | | | |

СРЕДНЕЕ FRPS ПО СКС, ТИПАМ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И УРОВНЮ ГОРИМОСТИ

| тип леса | Все типы леса | | | | Темнохвойные | | | | Светлохвойные | | | | Лиственные | | | | Хвойные листопадные | | | |
|---------------------------|--|------|------|-------|------------------------------|------|------|-------|------------------------|------|------|-------|------------------------------------|------|------|-------|------------------------------|------|------|-------|
| СКС | 1(+2) | 3 | 4 | 5 | 1(+2) | 3 | 4 | 5 | 1(+2) | 3 | 4 | 5 | 1(+2) | 3 | 4 | 5 | 1(+2) | 3 | 4 | 5 |
| Все года | 2006-2021 | | | | 2006-2021 | | | | 2006-2021 | | | | 2006-2021 | | | | 2006-2021 | | | |
| Среднее FRPS | 35,5 | 38,7 | 56,4 | 117,3 | 32,6 | 40,2 | 57,5 | 120,2 | 34,6 | 35,0 | 53,0 | 107,8 | 27,8 | 34,9 | 51,6 | 103,1 | 40,8 | 41,2 | 58,3 | 121,5 |
| Низкий уровень горимости | 2007, 2010, 2013, 2017 | | | | 2007-2010, 2018, 2020, 2021 | | | | 2009, 2013, 2017-2021 | | | | 2013, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020 | | | | 2006, 2007, 2009, 2010, 2015 | | | |
| Среднее FRPS | 32,2 | 40,7 | 65,5 | 123,8 | 31,7 | 39,4 | 56,1 | 125,1 | 34,0 | 40,6 | 63,3 | 121,8 | 33,4 | 43,8 | 63,8 | 110,4 | 31,8 | 36,2 | 46,3 | 82,4 |
| Средний уровень горимости | 2006, 2009, 2011, 2014-2016, 2018-2021 | | | | 2006, 2011, 2013, 2017, 2019 | | | | 2007, 2010, 2014-2016 | | | | 2007, 2010, 2011, 2018, 2021 | | | | 2011, 2013, 2014, 2016-2019 | | | |
| Среднее FRPS | 31,8 | 37,5 | 52,9 | 91,3 | 28,6 | 40,6 | 59,6 | 121,4 | 37,6 | 38,7 | 63,8 | 123,5 | 28,5 | 37,7 | 55,2 | 120,7 | 38,4 | 42,6 | 61,4 | 119,3 |
| Высокий уровень горимости | 2008, 2012 | | | | 2012, 2014-2016 | | | | 2006, 2008, 2011, 2012 | | | | 2006, 2008, 2009, 2012, 2014 | | | | 2008, 2012, 2020, 2021 | | | |
| Среднее FRPS | 37,3 | 37,7 | 54,9 | 101,0 | 36,1 | 40,2 | 56,8 | 118,0 | 32,9 | 29,4 | 42,3 | 84,3 | 25,1 | 28,2 | 42,1 | 84,8 | 48,3 | 39,9 | 56,8 | 132,5 |