



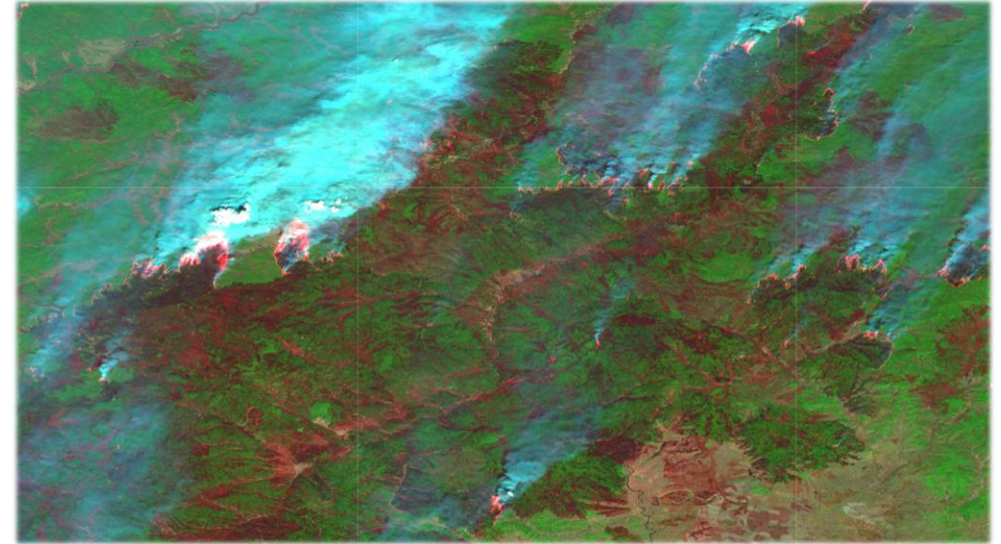
Оценка площади погибших от пожаров лесов на основе композитных спутниковых изображений

Стыценко Ф. В., Барталев С. А., Сайгин И.А.

Институт космических исследований РАН

**XXIII международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
10-14 ноября 2025 г.
Москва, ИКИ РАН**

Проблема лесных пожаров



Пожары 2025 года на территории Забайкальского края



Пройденные огнем площади за 2006-2024гг

Последствия воздействия огня на лесные экосистемы



Лес отнесен к категории “погибшие”.



Лес отнесен к категории “здоровые”.

Показатели состояния поврежденных пожарами лесов

В качестве показателя степени повреждения лесов обычно используются параметры **степени усыхания** и **средневзвешенной категории состояния**, рассчитываемые следующим образом:

$$СКС = \frac{\sum_{i=1}^5 i \times K_i}{\sum_{i=1}^5 K_i}$$

$$СУ = \frac{\sum_{i=1}^5 K_i \times 100\%}{\sum_{i=1}^5 K_i}$$

где K_i – число деревьев i -ой категории состояния деревьев согласно лесопатологической классификации.

Данные показатели базируются на определении количества деревьев в насаждении со следующими категориями состояния:

- здоровые (1),
- ослабленные (2),
- сильно ослабленные (3),
- усыхающие (4),
- сухостой текущего года (5а),
- сухостой прошлых лет (5б).

СУ отражает долю погибших деревьев в насаждении, а СКС отражает степень повреждения насаждения, изменяясь в диапазоне от 1 до 5. При этом устанавливаются следующие границы интервалов значений СКС для отнесения насаждения к различным категориям состояния:

<1,5 – здоровое насаждение;

1,5-2,5 – ослабленное;

2,5-3,5 – **сильно ослабленное**;

3,5-4,5 – **усыхающее**;

>4,5 **погибшие**.

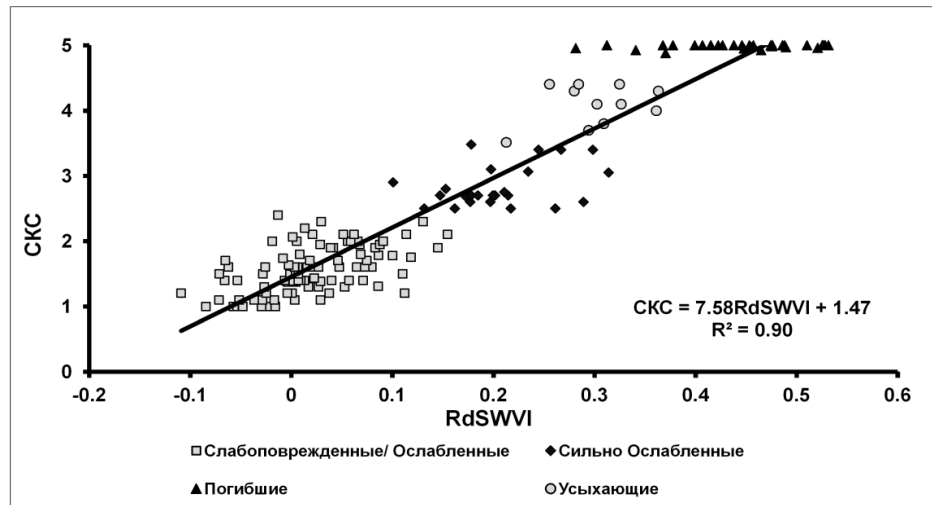
Оценка последствий воздействия огня на лесные экосистемы на основ вегетационных индексов

Разновременной вегетационный индекс RdSWVI (Relative Difference Short Wave Vegetation Index) показывает высокую линейную корреляцию со степенью повреждения лесов пожарами:

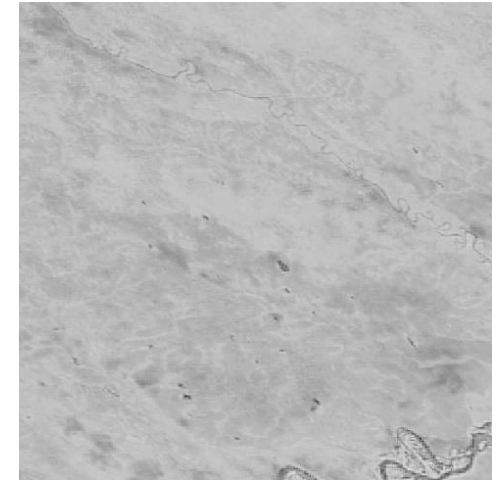
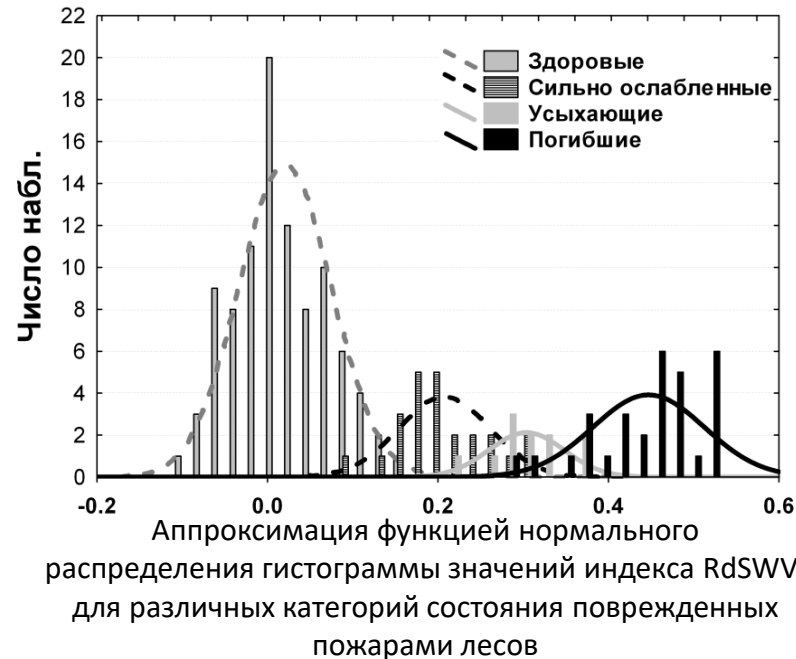
$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}}$$

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

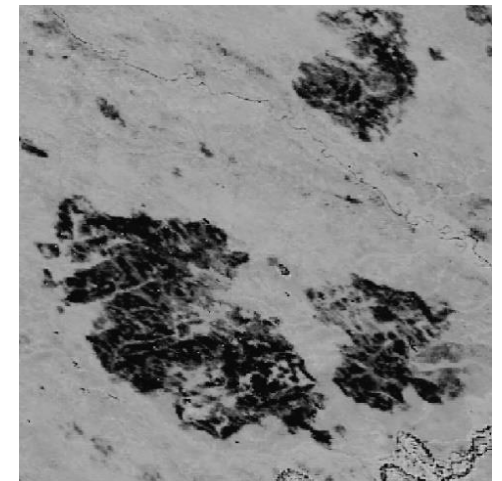
$SWVI_{pre}$ и $SWVI_{post}$ - значения индекса SWVI до и после воздействия пожара



Взаимосвязь между значениями вегетационного индекса RdSWVI по данным Landsat-TM и CKC поврежденных пожарами лесов по результатам наземного обследования

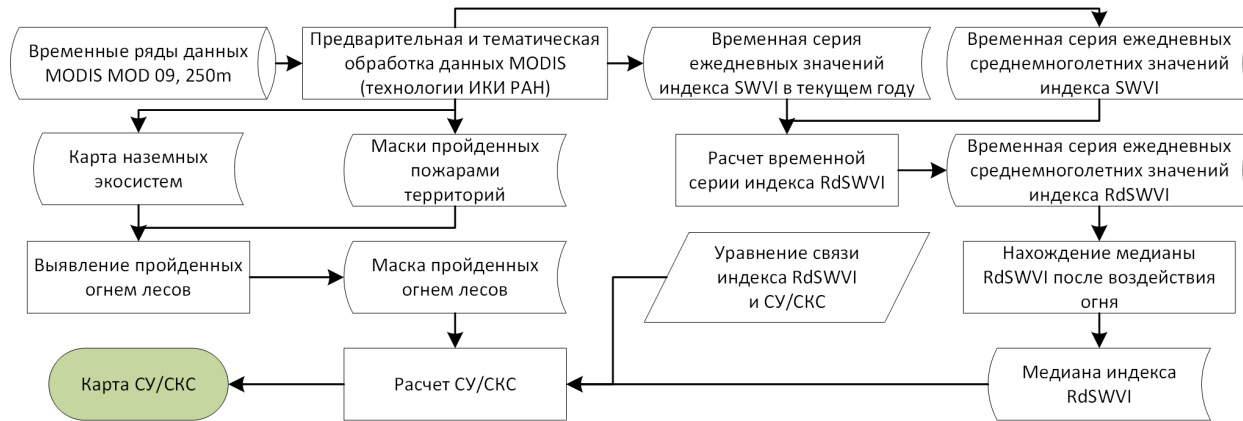


$SWVI_{pre}$



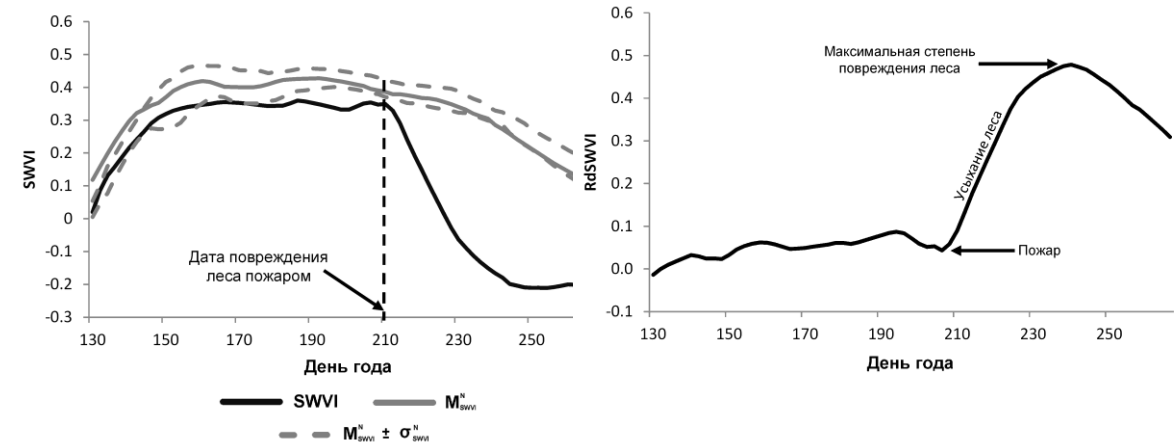
$SWVI_{post}$

Автоматизированный метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе ежедневных данных



Логическая схема оценка степени повреждения лесов пожарами

- Построение ежедневной временной серии разностного вегетационного индекса RdSWVI, характеризующего отклонение его значений для поврежденного огнем леса от статистической нормы;
- Расчет медианного значения индекса RdSWVI для каждого пиксела, для измерений, полученных после воздействия огня;
- Оценка значений КСК и СУ на основе уравнения связи данных показателей и значения медианы индекса RdSWVI.



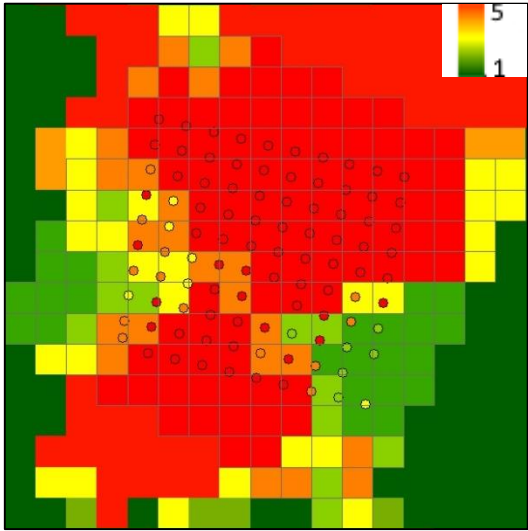
$M_{swvi}^N(\Theta^*, t)$, $\sigma_{swvi}^N(\Theta^*, t)$ - оценка среднего многолетнего значения и стандартного отклонения индекса для каждого пиксела с координатами Θ^* в день года t .

$$M_{swvi}^N(\Theta^*, t) = \frac{1}{N} \sum_{y=1}^Y \sum_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} SWVI(\Theta^*, t, y)$$

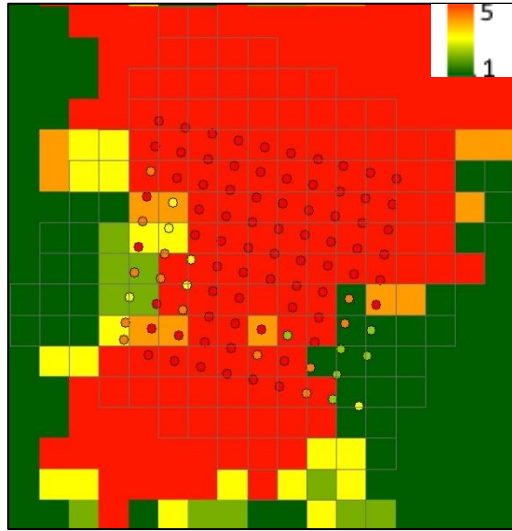
$$\sigma_{swvi}^N(\Theta^*, t) = \frac{1}{N} \left(\sum_{y=1}^Y \sum_{t-\Delta t}^{t+\Delta t} (SWVI(\Theta^*, t, y) - M_{swvi}^N(\Theta^*, t))^2 \right)^{1/2}$$

где y - индекс года внутри опорного периода продолжительностью $Y=5$;
 $\Delta t=3$ - ширина временного скользящего окна для статистической оценки внутригодовой динамики индекса SWVI;
 $Y(2\Delta t+1)=35$ -общее количество измерений, использующихся при оценке индекса SWVI для заданного пиксела в день t .

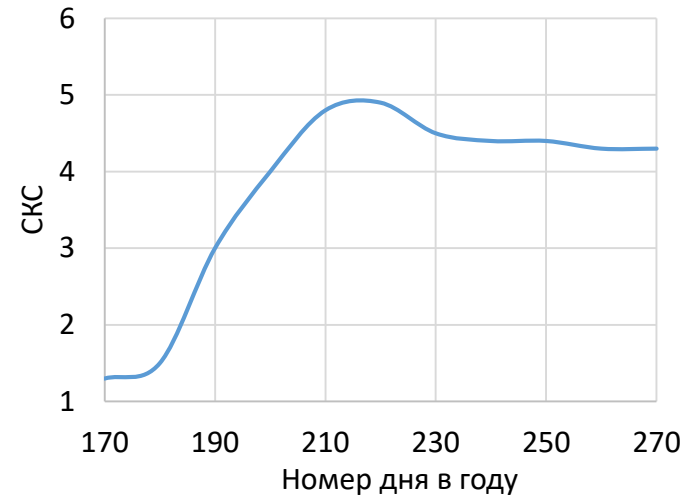
Модификация метода оценки степени повреждения лесов пожарами



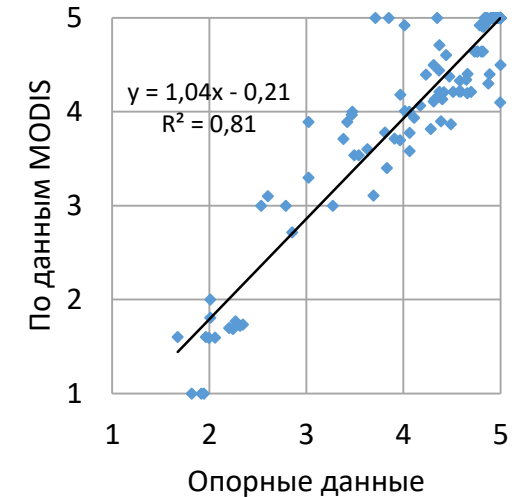
Опорные данные о показателе СКС на уровне пикселей MODIS



Данные о показателе СКС, полученные автоматизированным методом



Характерная динамика значений СКС для пикселей с завышенной оценкой данного показателя на основе метода поиска максимума индекса RdSWVI



Взаимосвязь СКС по данным MODIS (с нахождением медианного значения индекса) и опорными данным

Исследования, направленные на поиск оптимального алгоритма выбора значения индекса RdSWVI включали анализ возможностей использования среднего, медианного и других значений индекса RdSWVI. Наилучший результат получен при использовании медианного значения индекса RdSWVI после воздействия огня, который позволяет расширить динамический диапазон значений СКС, а также получить более согласованные с наземными данными результаты.

Расчет площади поврежденных лесов с учетом лесистости

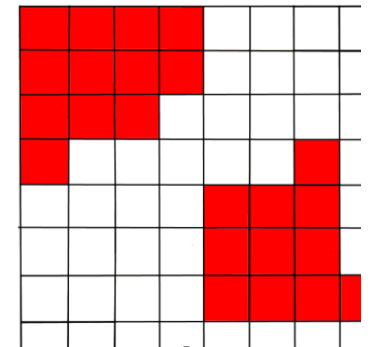


Карта лесистости территории России

Лесистость

100	99	100	97	95	88	73
97	93	88	84	86	84	74
95	82	82	73	74	77	73
88	77	88	86	90	84	80
86	88	92	94	98	97	82
82	90	100	100	100	100	98
84	80	95	94	96	100	99
100	100	100	100	100	100	100

Пиксели поврежденного леса
(Площадь пикселя ~ 5.29 Га)



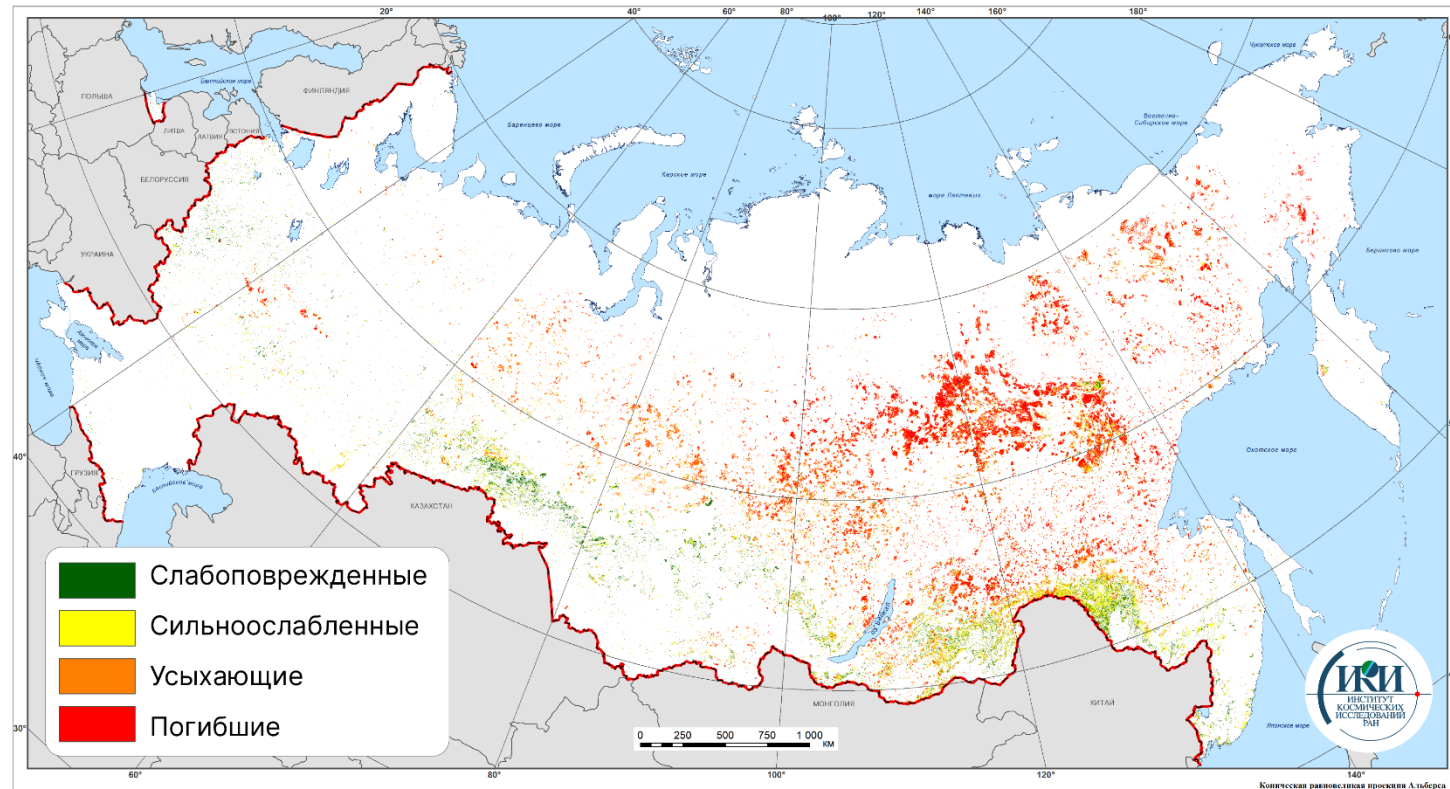
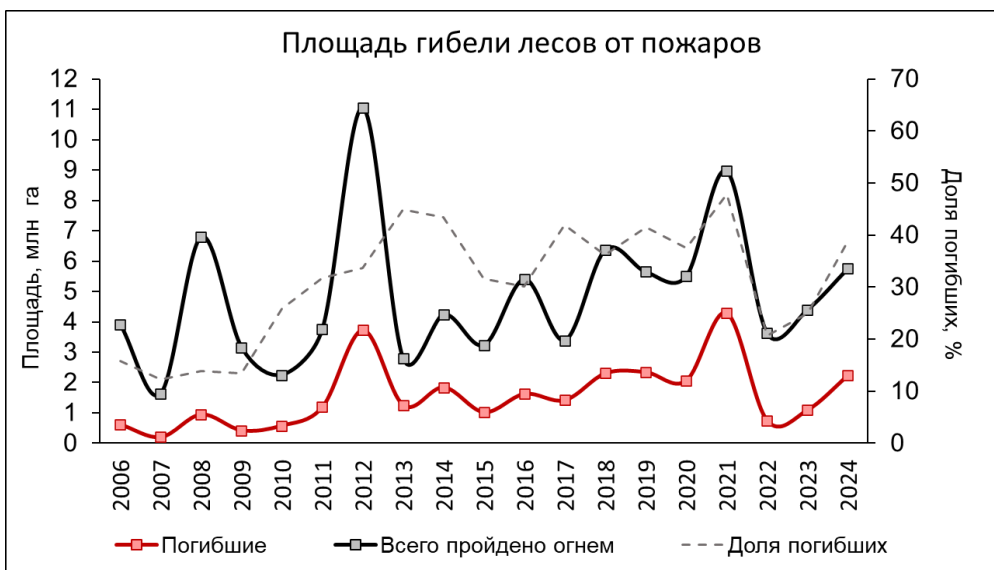
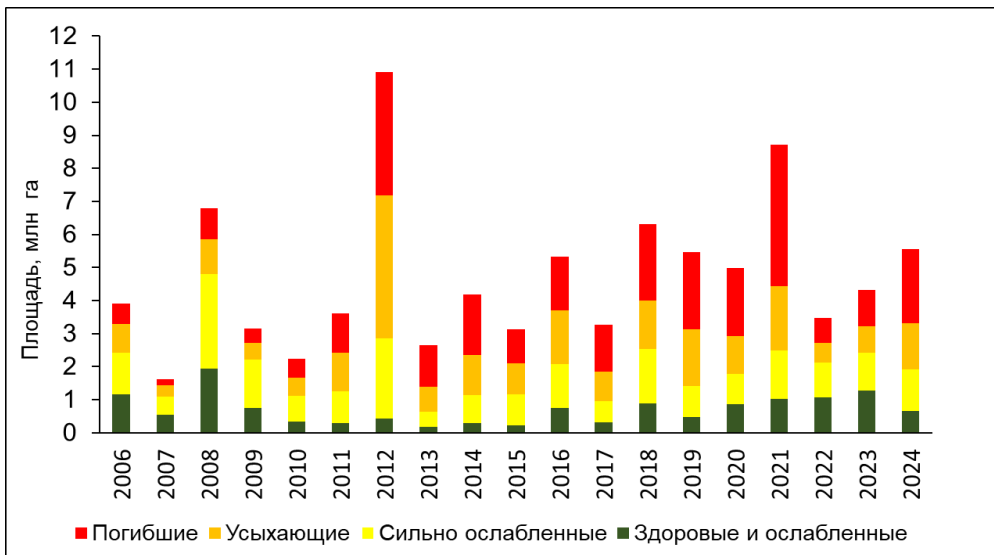
$$S_d = S * L / 100$$

S_d - Площадь поврежденного леса
 S - Площадь пикселя
 L - Лесистость, %

Площадь поврежденного леса в пикселях

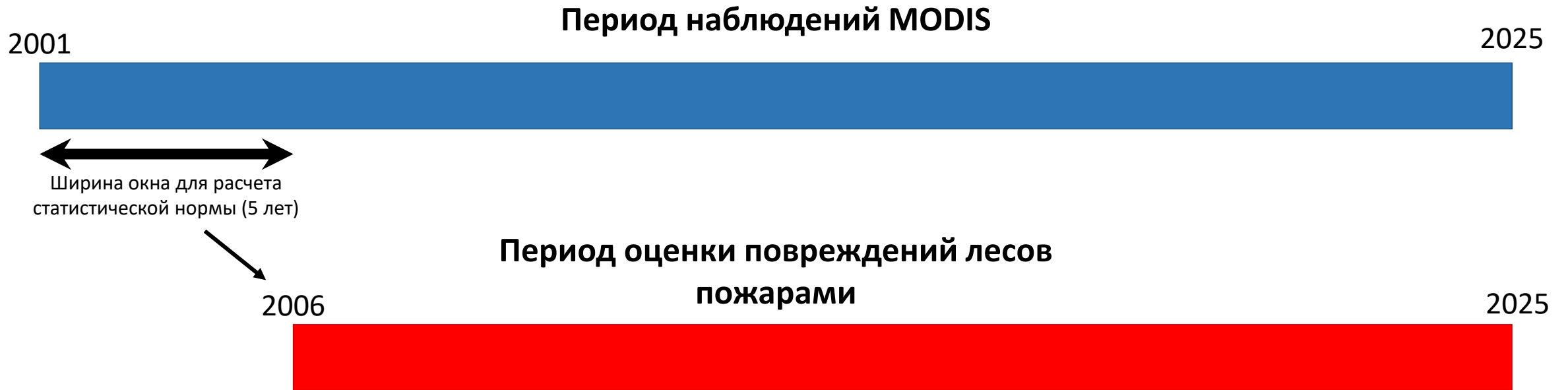
5.29	5.24	5.29	5.13			
5.13	4.92	4.66	4.44			
5.03	4.34	4.34				
4.66						4.23
				5.18	5.13	4.34
				5.29	5.29	5.18
				5.08	5.29	5.24

Оценка погибших от пожаров лесов России за 2006-2024 гг

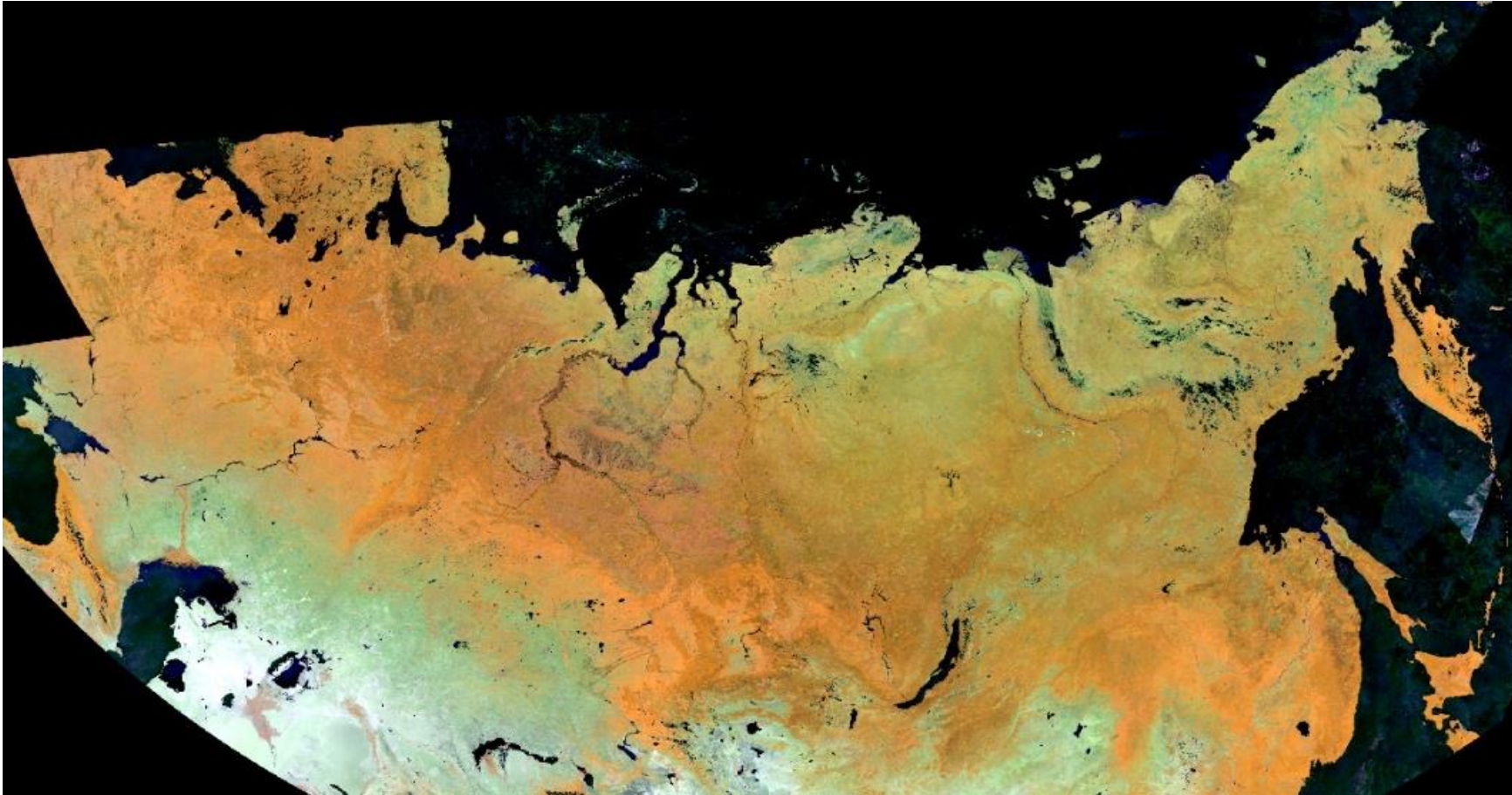


Среднегодовое количество поврежденных пожарами лесов составила 4.83 млн га, включая 1.57 млн га погибших

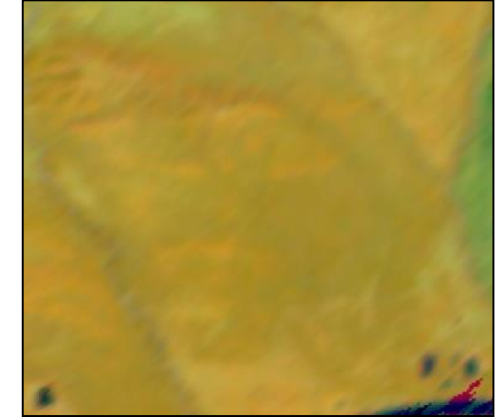
Оценка степени повреждения лесов пожарами на основе ежедневных данных с использование статистической нормы



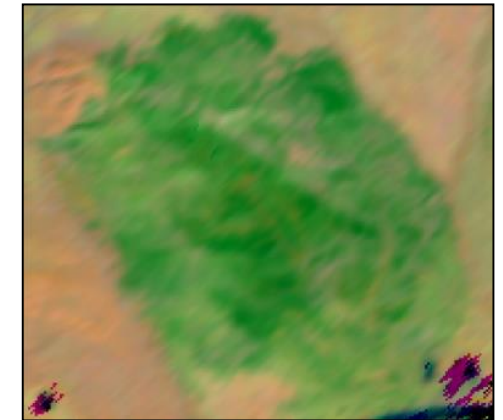
Используемые спутниковые данные



Композитное изображение, полученное в летний период RGB=NIR;SWIR;Red



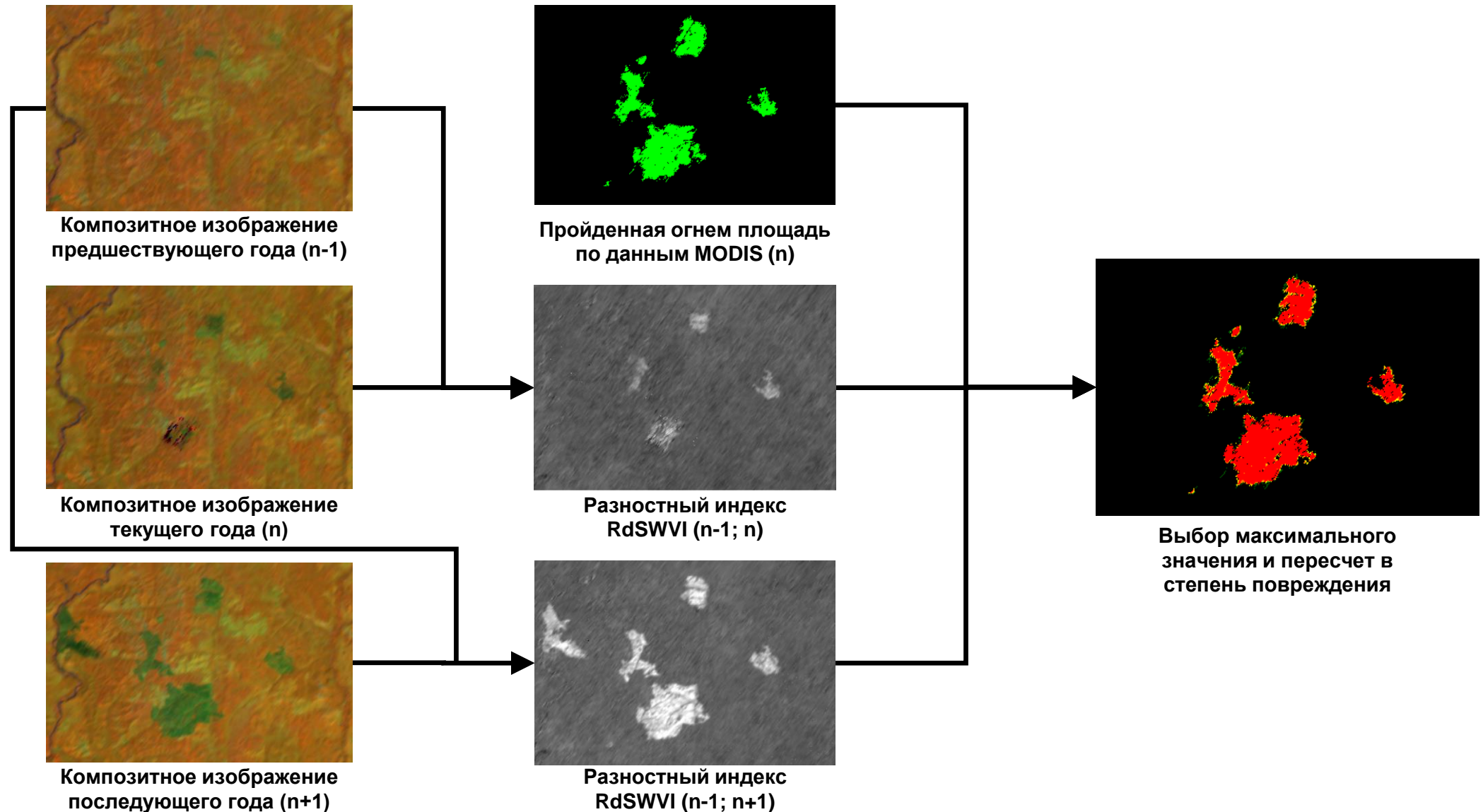
До пожара



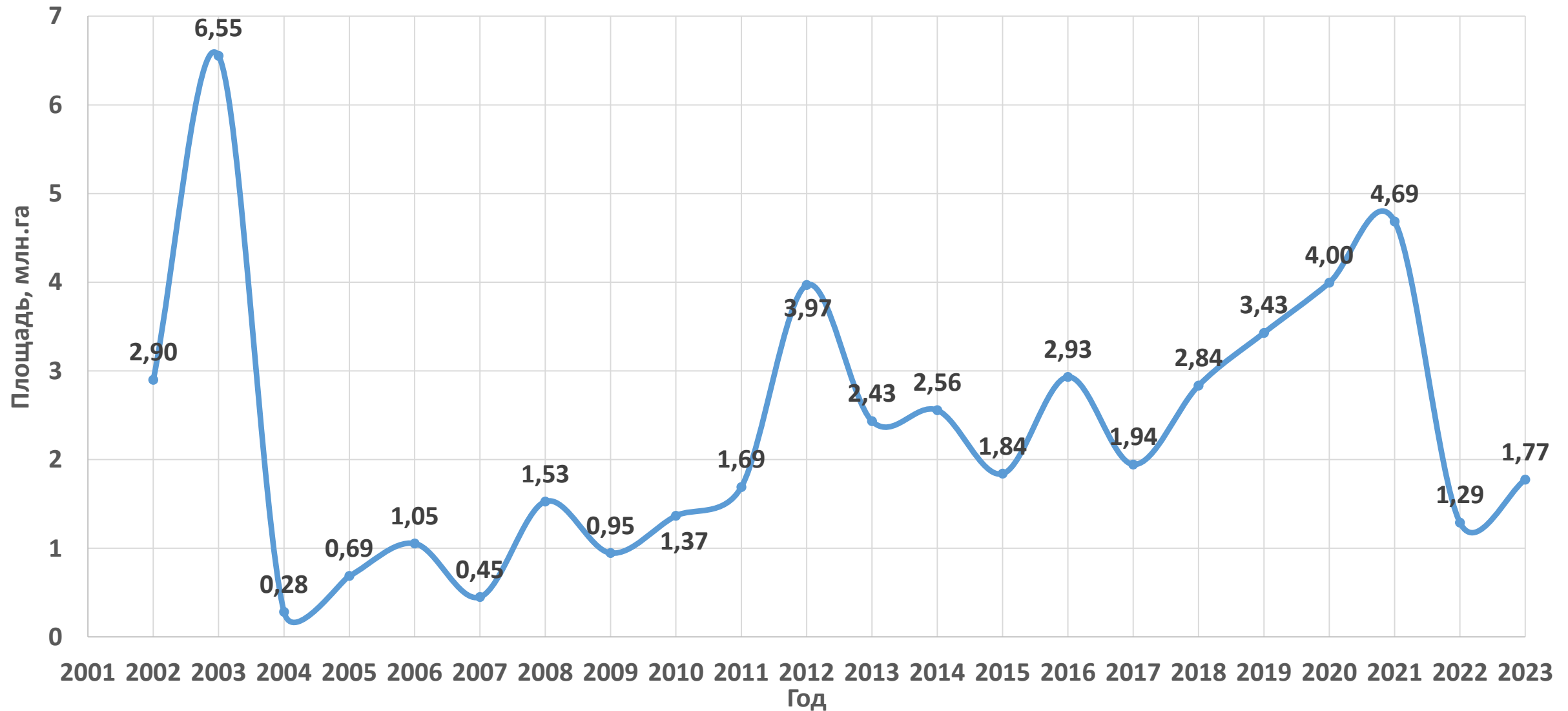
После пожара

Были использованы разновременные данные MODIS, характеризующие отражательную способности лесного покрова в летний период до и после воздействия огня. Данные включали отражательную способность в ближней и средней ИК (0.84, 1.61мкм) областях спектра.

Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе композитных изображений

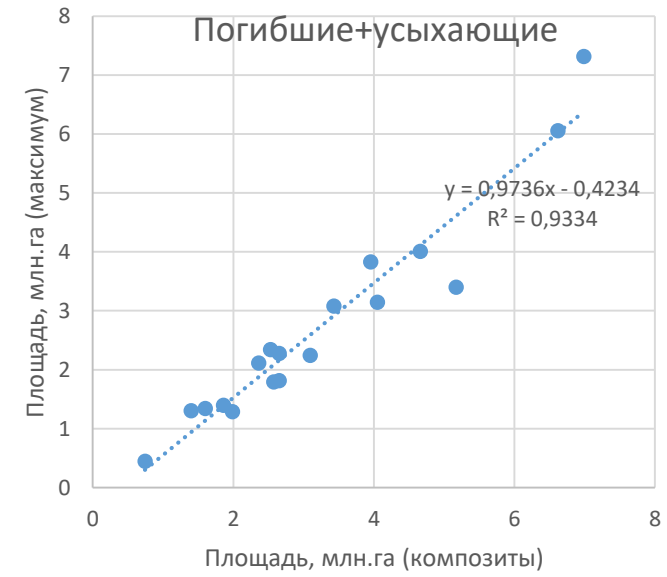
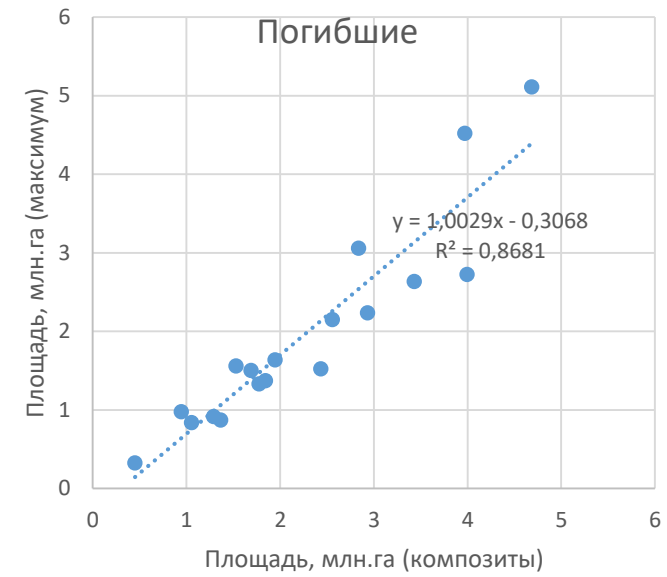
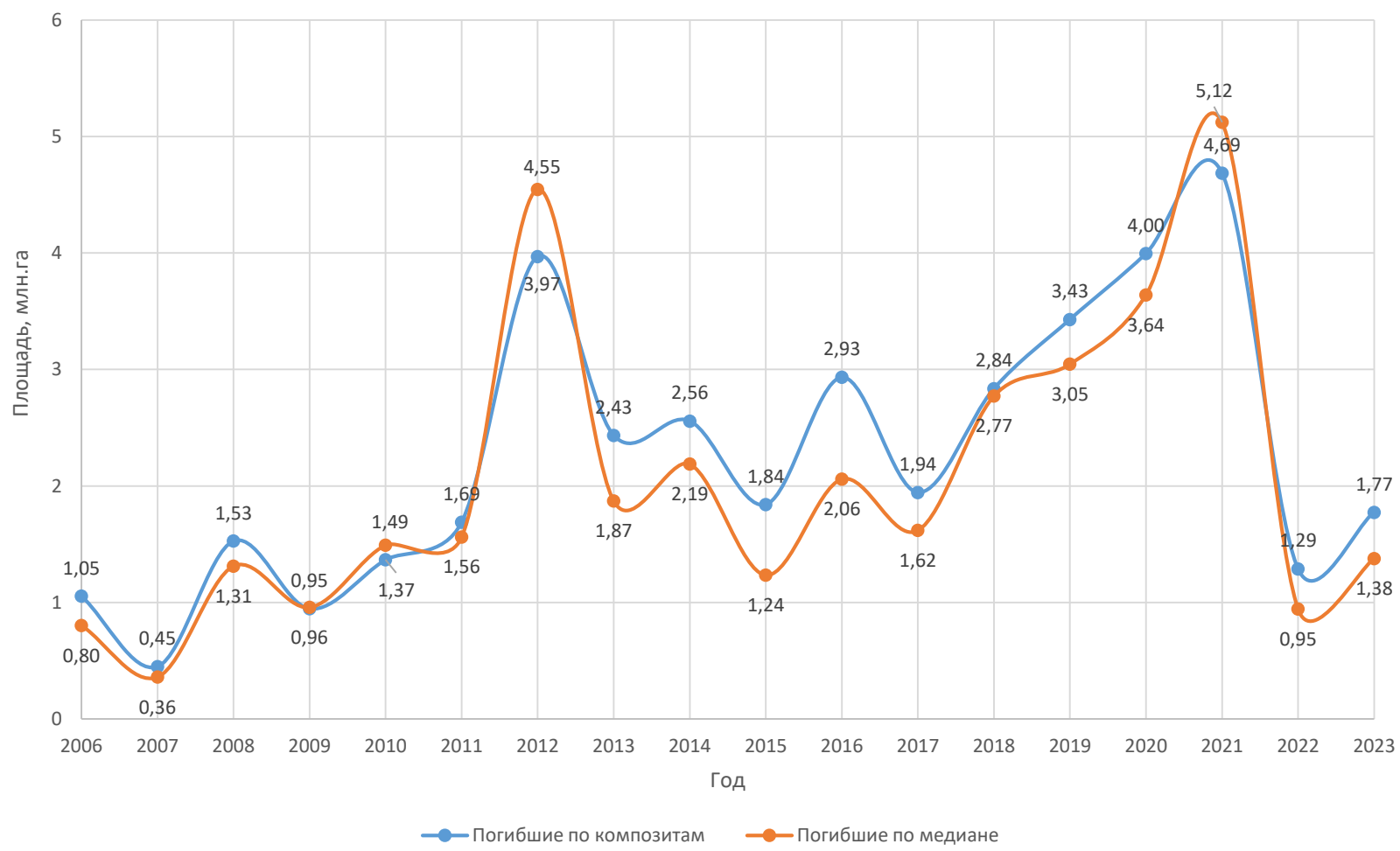


Результаты выделения пикселей погибшего леса



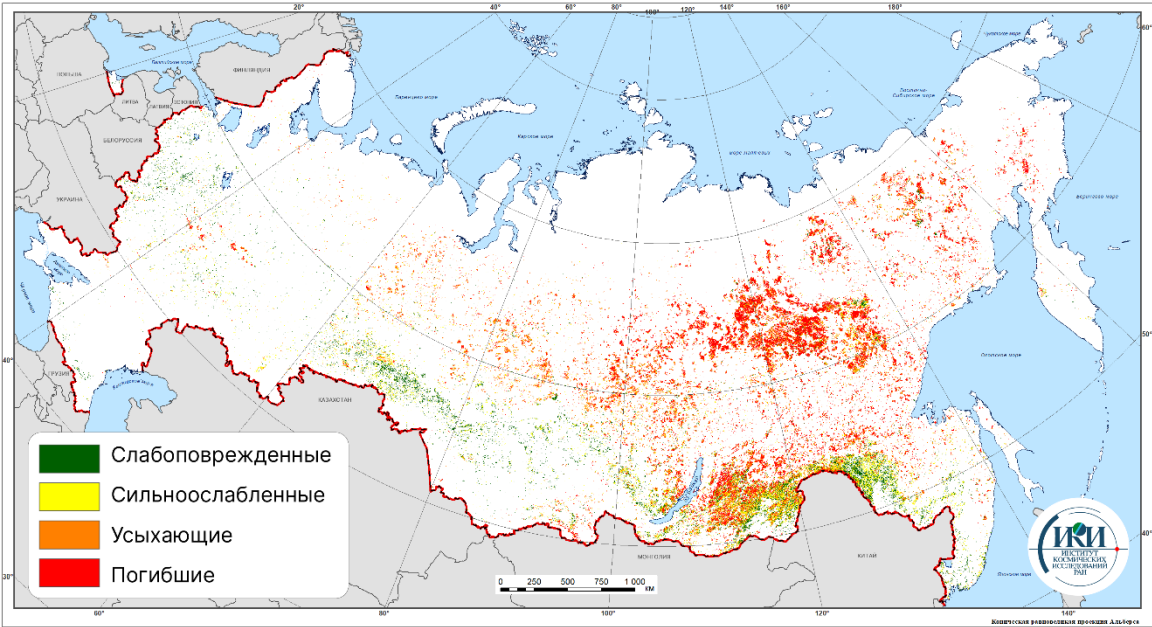
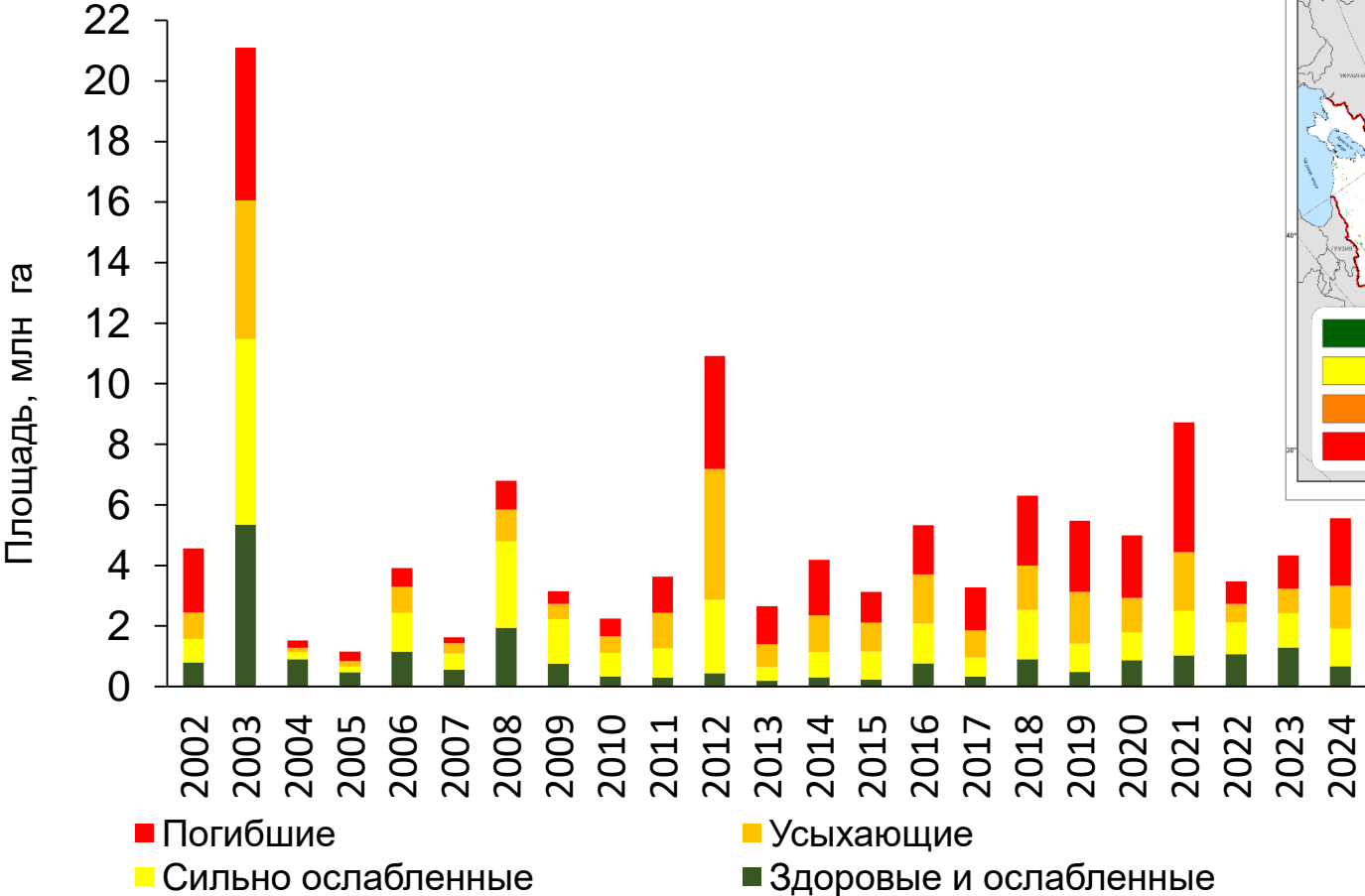
*приведенные площади не учитывают долю пиксела занятого лесом

Сравнение оценок, полученных по ежедневным данным и по композитным изображениям



*приведенные площади не учитывают долю пиксела занятого лесом

Оценка повреждений лесов пожарами за 2002-2024гг



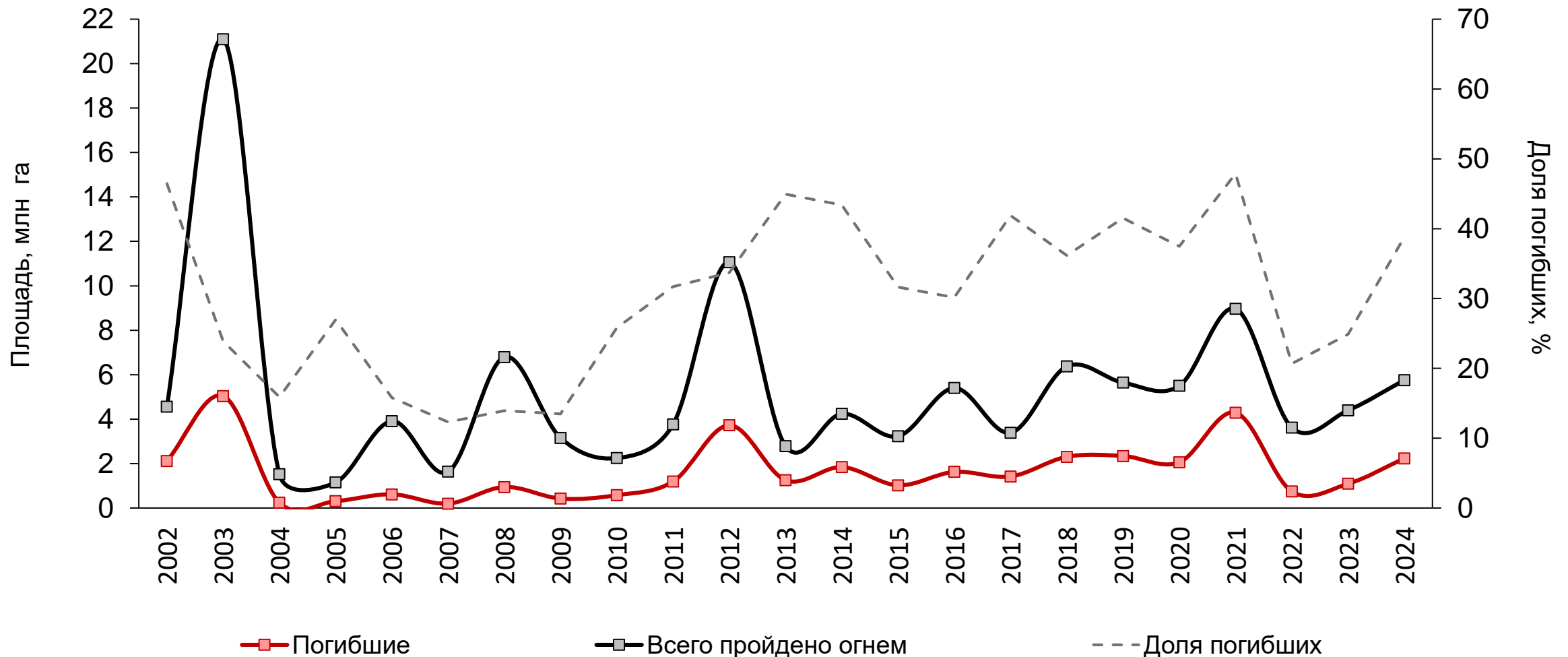
Среднемноголетние значения составили:

Поврежденных лесов: 5.22 млн га

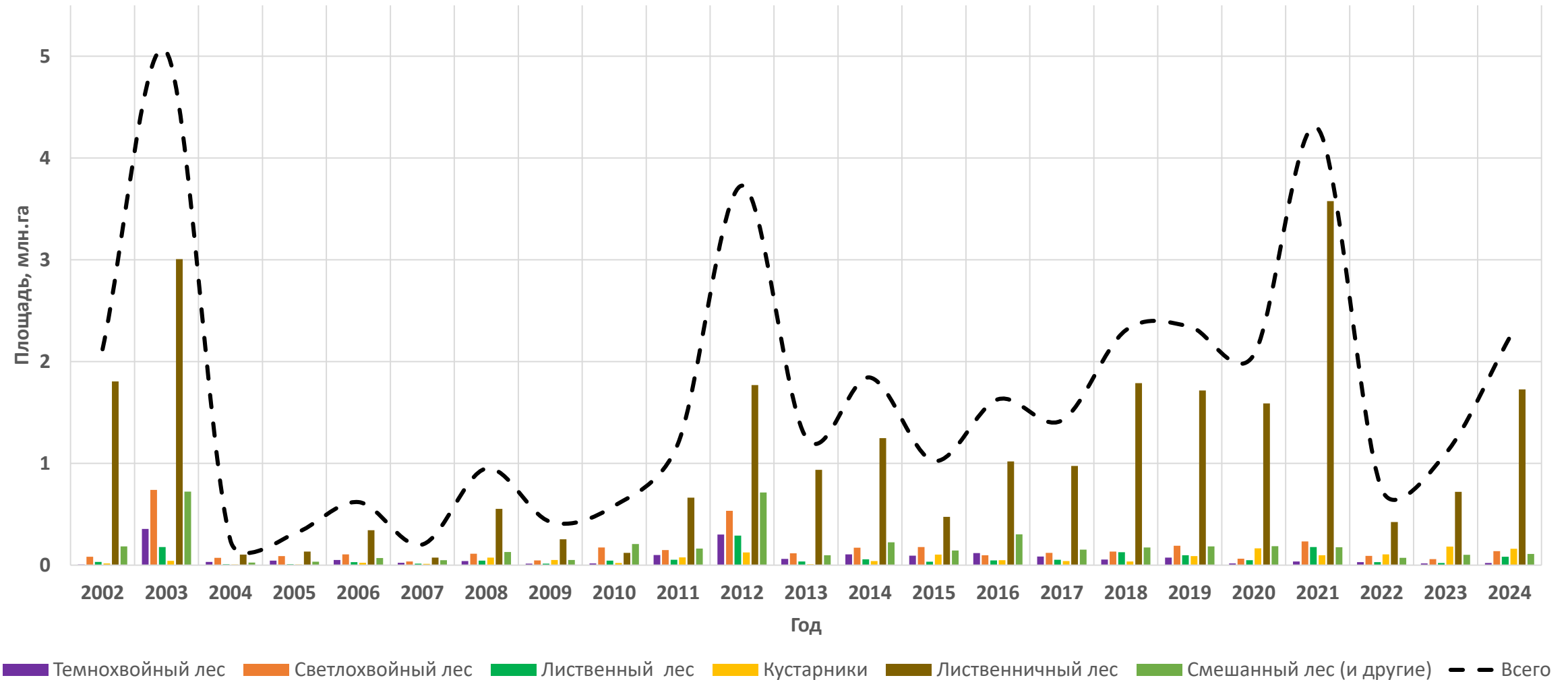
Погибших лесов: 1.63 млн га

Погибших и усыхающих лесов: 2.90 млн га

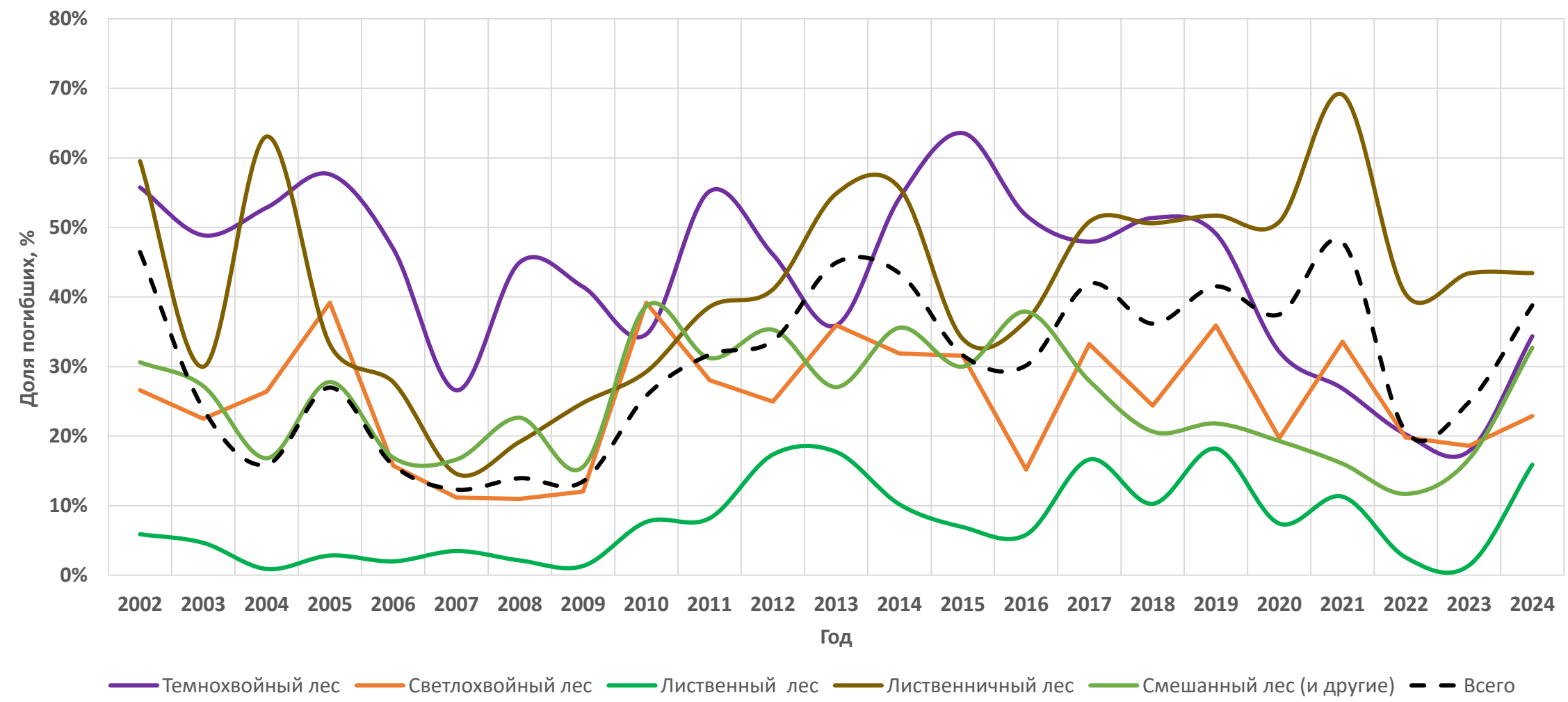
Оценка погибших от пожаров лесов за 2002-2024гг



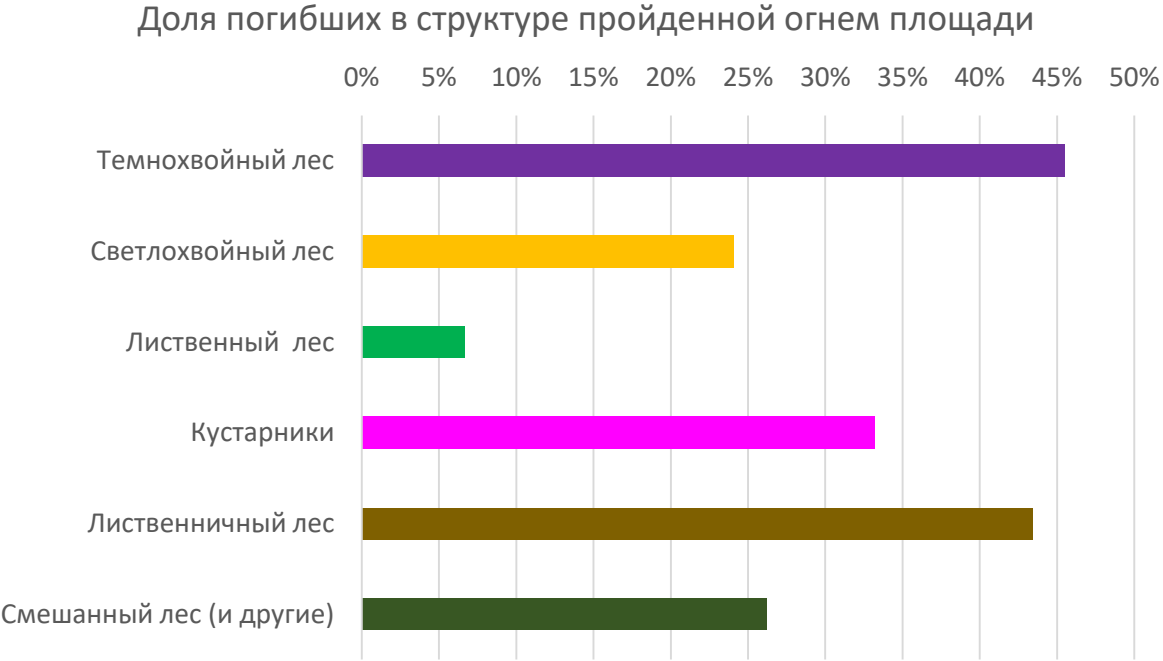
Оценка погибших от пожаров лесов за 2002-2024гг



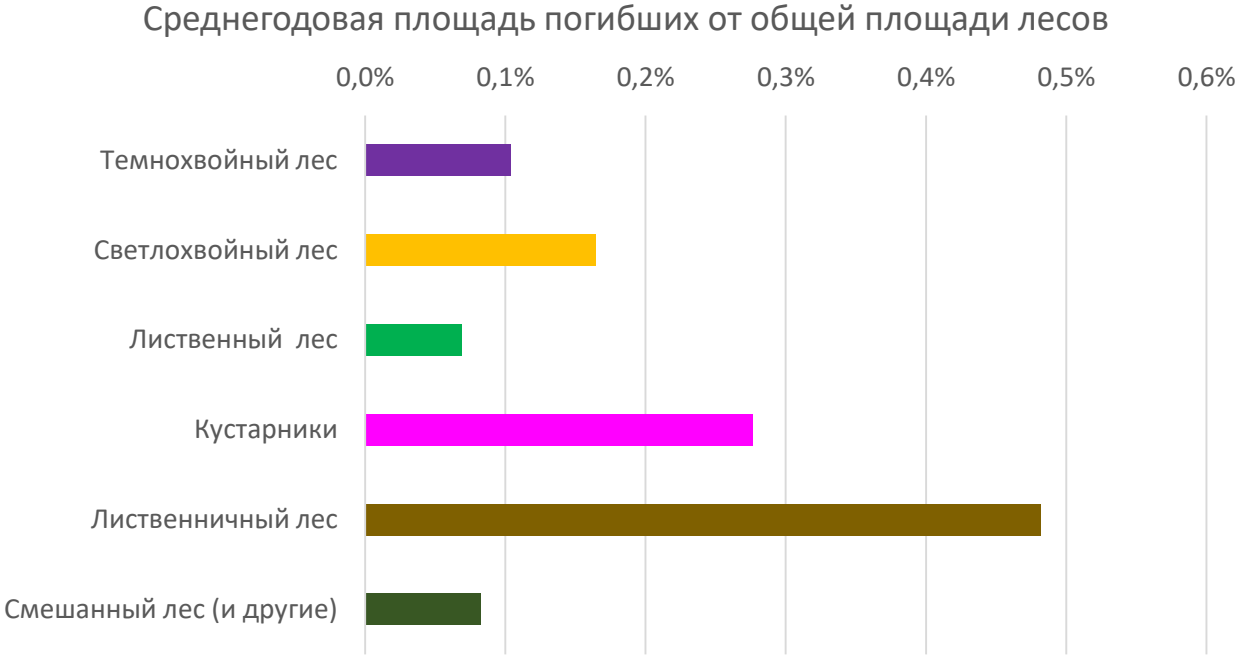
Оценка доли погибших от пожаров лесов за 2002-2024гг для основных групп древесных пород



Оценка погибших от пожаров лесов за 2002-2024гг для основных групп древесных пород



Среднее значение составило 31.3%



Среднее значение составило 0.22% (~1/454)

Благодарю за внимание

Работа выполнена в рамках работ по теме «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8). Использовалась инфраструктура хранения и обработки спутниковых данных Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2019).