



Развитие автоматизированных методов оценки характеристик нарушенных пожарами лесов на основе спутниковых данных

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

Институт космических исследований РАН

XXII международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

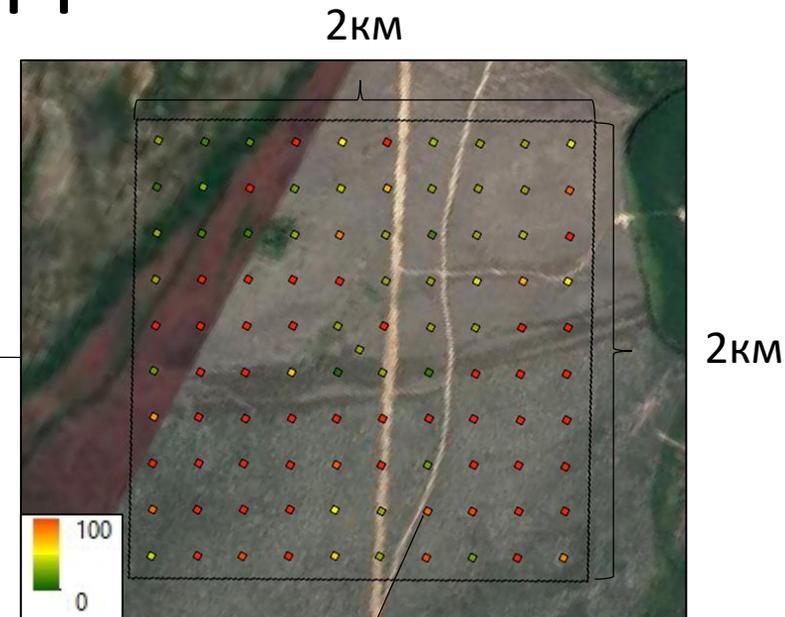
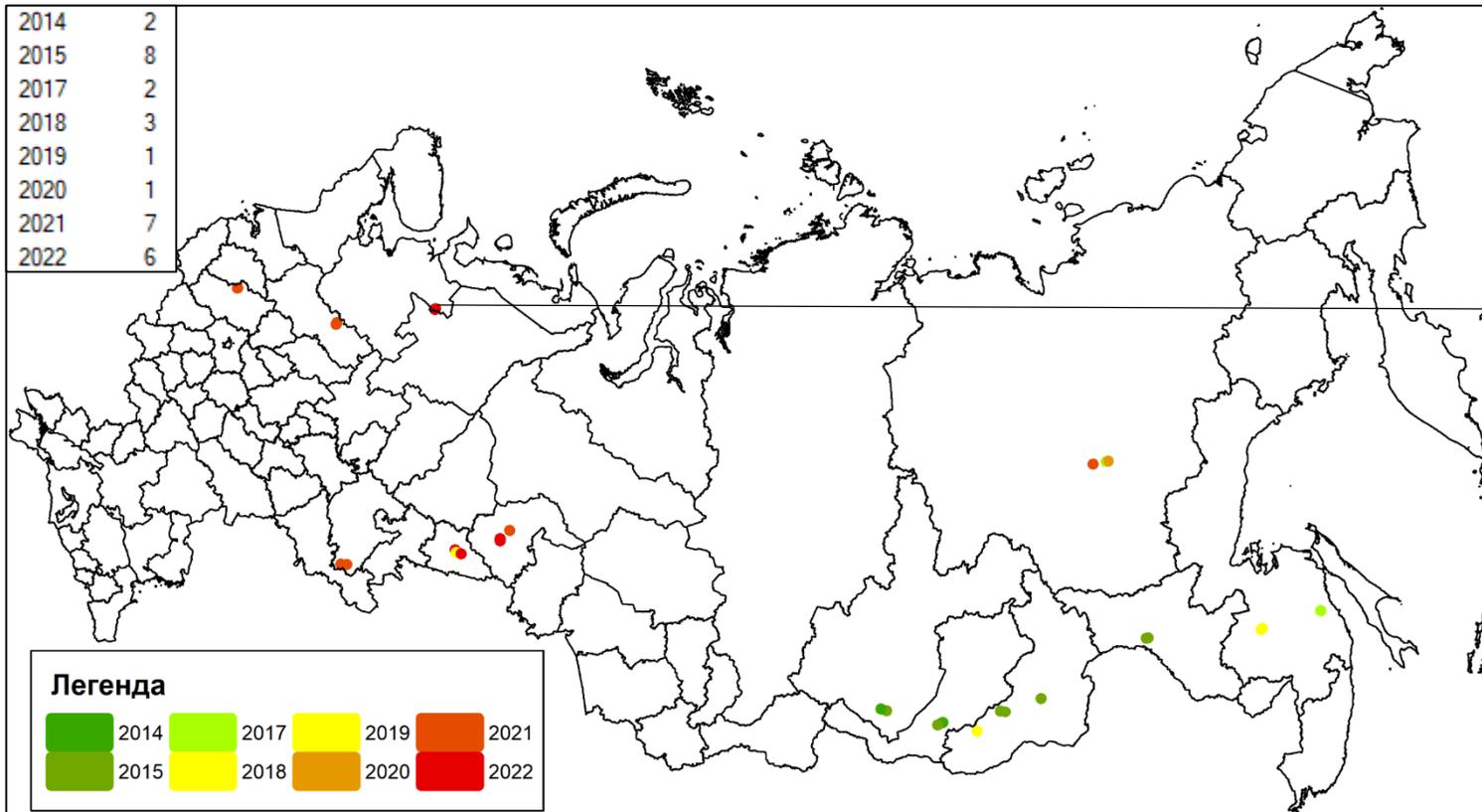
11-15 ноября 2024 г.

Москва, ИКИ РАН

Введение

1. Для оценки характеристик повреждения лесов используют показатели: степень усыхания (СУ) и средневзвешенная категория состояния (СКС). Данные о степени усыхания лесов используются для оценки запасов погибших в результате воздействия пожаров деревьев. Данные о средневзвешенной категории состояния используются для выделения класса погибших лесов и оценки площади гибели лесных насаждений в результате воздействия огня.
2. В настоящее время существуют автоматические методы оценки этих показателей, полученные по многолетним рядам данных спутниковых наблюдений, получаемых спектрорадиометром MODIS. Метод основан на установленной взаимосвязи между данными показателями и величиной нормализованной разности коротковолнового вегетационного индекса RdSWVI. Метод подразумевает нахождение максимума индекса RdSWVI за вегетационный сезон после даты обнаружения пожара с последующим пересчетом значений показателей СКС и СУ.
3. В рамках проекта ВИПГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создание системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» были проведены наземные обследования на территории тестовых полигонов, включая территории нарушенных пожарами лесов.
4. На основе полученных опорных данных были проведены исследования, позволившие модифицировать существующие автоматические методы картографирования характеристик нарушенных пожарами лесов на основе спутниковых данных.

Используемые наземные данные



Характеристика древостоя					
Элемент леса	Древесная порода	Число стволов на 1 га, шт.	Возраст, лет	Запас элемента леса на 1 га, м3	Средневзвешенная категория санитарного состояния древостоя по элементу леса
1	СОСНА обыкновенная	106	80	67	5
2	БЕРЕЗА бородавчатая	30	40	11	5

Расположение обследованных в 2023 году тестовых полигонов на участках нарушенных пожарами лесов

В рамках проекта ВИПГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, создание системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» в 2023 году были обследованы 30 тестовых полигонов на участках, нарушенных лесными пожарами. В исследовании были использованы данные 6 тестовых полигонов, заложенных в насаждениях, поврежденных свежими пожарами 2022 года. Тестовый полигон представляет собой квадрат со сторонами 2×2 км площадью 400 га. На каждом полигоне заложена 101 круговая ПП, где описаны характеристики лесного покрова, в частности определены характеристики повреждения древостоя в целом, такие как **степень усыхания (СУ)** и **средневзвешенная категория состояния (СКС)**.

Показатели состояния поврежденных пожарами лесов

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

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

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

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

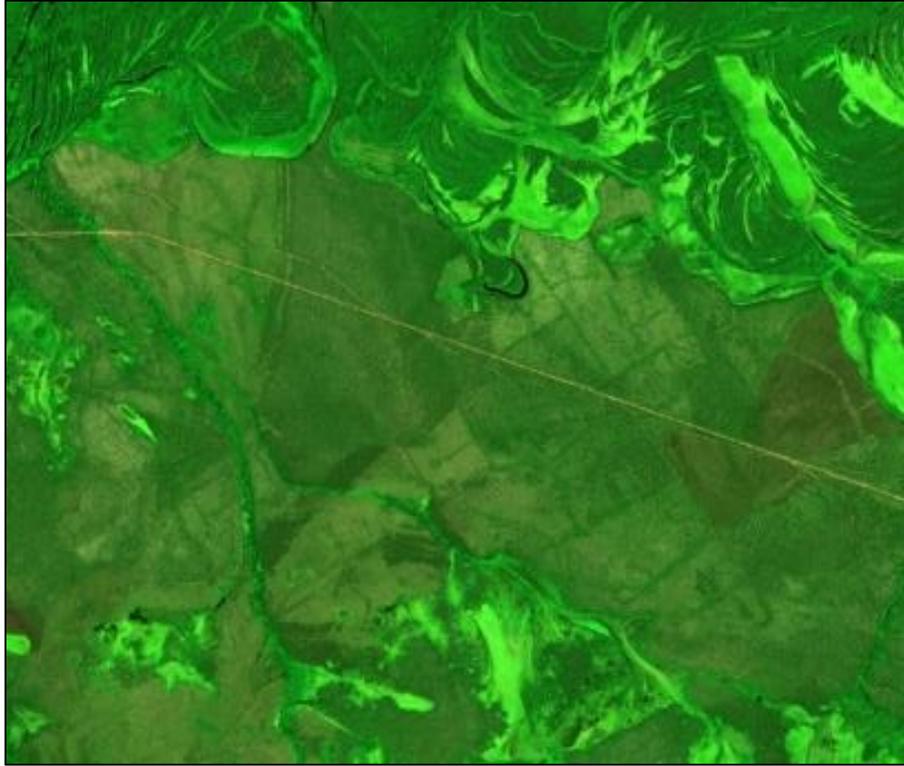
Данные показатели базируются на определении количества деревьев в насаждении со следующими категориями состояния:

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

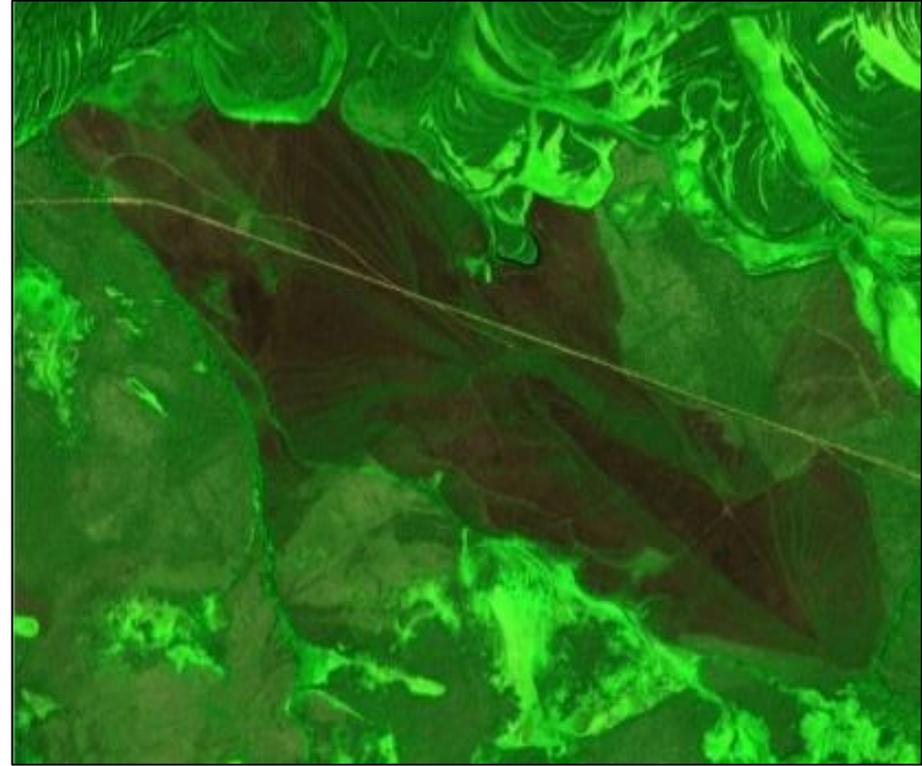
СУ отражает долю погибших деревьев в насаждении, а СКС отражает степень повреждения насаждения, изменяясь в диапазоне от 1 до 5. При этом устанавливаются следующие верхние границы интервалов значений СКС для отнесения насаждения к различным категориям состояния: 1,5 – здоровое насаждение; 2,5 – ослабленное; 3,5 – сильно ослабленное; 4,5 – усыхающее. Насаждения с СКС выше 4,5 относятся к погибшим.

Показатели СКС и СУ были рассчитаны для 606 пробных площадей, расположенных на 6 тестовых полигонах со свежими пожарами 2022 года

Используемые спутниковые данные высокого пространственного разрешения



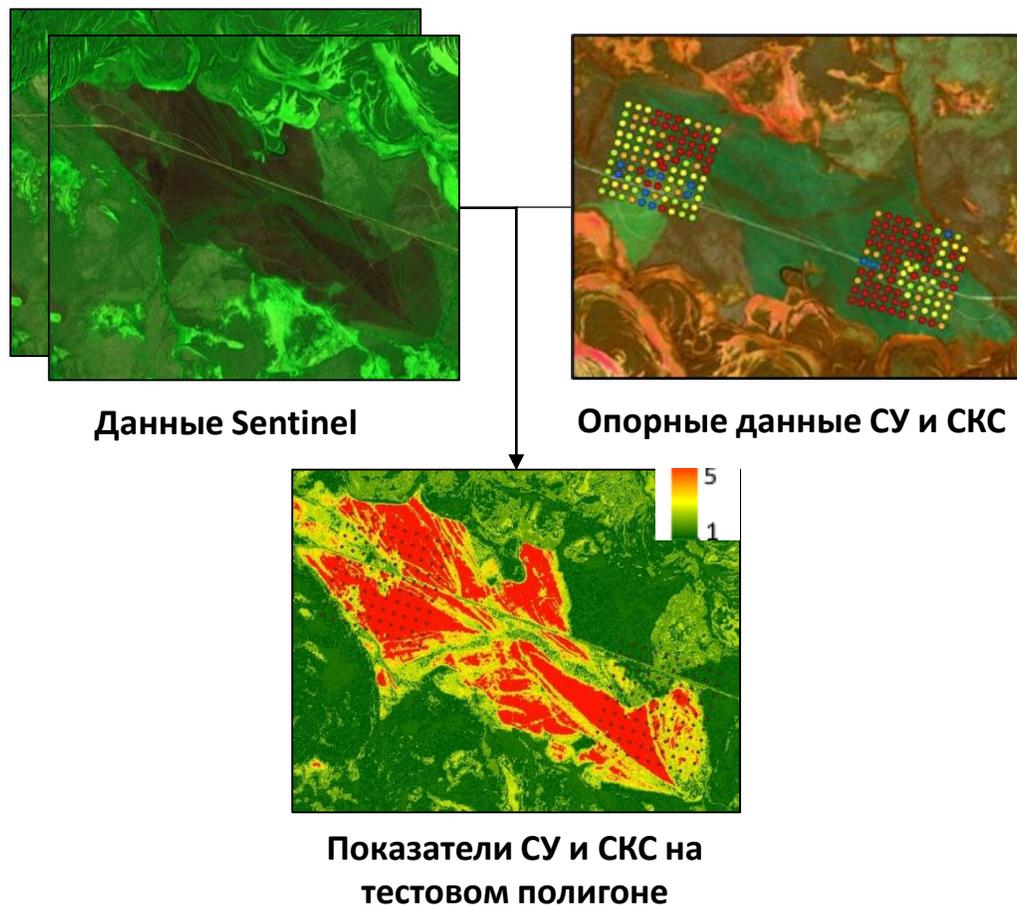
Данные Sentinel до пожара (12.06.2022)



Данные Sentinel после пожара 06.08.2022 (пожар: 15.07.2022)

На территорию исследуемых тестовых полигонов были подобраны разновременные данные Sentinel-2/MSI, характеризующие отражательную способность лесного покрова до и после воздействия огня, при этом последние подбирались непосредственно в год пожара. Данные включали отражательную способность в красной (0.66 мкм), ближней и средней ИК (0.84, 1.61, 2.19 мкм) областях спектра.

Оценка показателей СУ и СКС по данным высокого пространственного разрешения



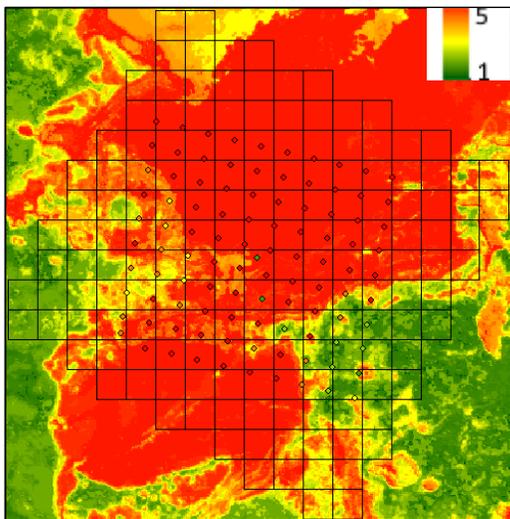
Выполнен ряд классификаций с использованием различных спектральных признаков, полученных до и после пожара для 6 тестовых полигонов. Наибольший коэффициент детерминации $R^2=0.89$ был получен при совместном использовании данных об отражательной способности, полученной в ближней и средней ИК области после воздействия огня методом градиентного бустинга LightGBM, который показал значительное увеличение точности оценки этих характеристик. На основе использования указанного метода на области тестовых полигонов были рассчитаны показатели СУ и СКС

Полученные картографические материалы высокого пространственного разрешения использованы для создания опорной базы данных, содержащей оценки характеристик нарушенных пожарами лесов для тестовых полигонов в ячейках, соответствующих пикселям MODIS для валидации результатов оценки повреждений лесов пожарами на основе данных ДЗЗ среднего пространственного разрешения.

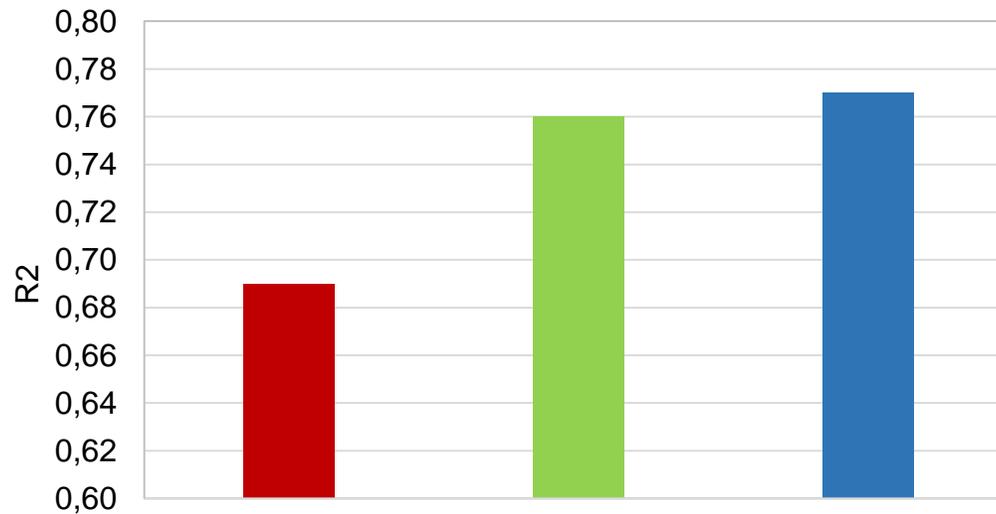
Получение опорных данных на уровне пикселей MODIS

Для пересчета значений СУ и СКС, полученных по данным Sentinel-2, на уровень данных среднего разрешения протестированы различные подходы, включая: 1) нахождение среднего значения; 2) нахождение средневзвешенного значения с использованием в качестве весовых коэффициентов значений проективного покрытия лесов по данным Global Forest Change; 3) нахождение средневзвешенного значения с использованием в качестве весовых коэффициентов данных о запасах стволовой древесины лесов на тестовых полигонах.

Значения СКС и СУ сравнивались с оценками, полученными автоматизированным методом по данным прибора MODIS



Создание полигонов, соответствующих пикселям MODIS



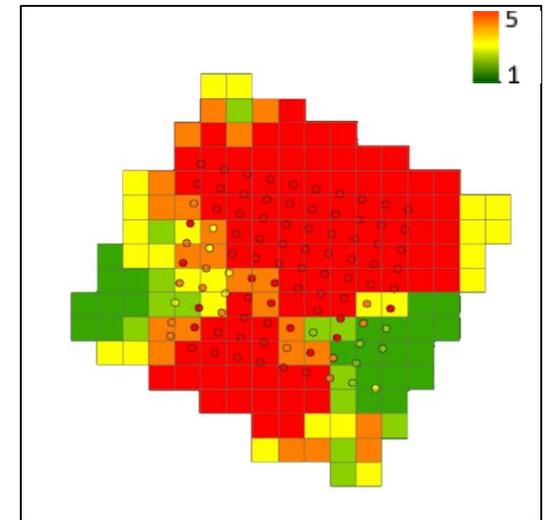
Среднее значение

С учетом проективного покрытия

С учетом запаса

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^i P_i Z_i}{\sum_1^i Z_i}$$

где $P_{\text{ср}}$ – среднее значение СУ или СКС на уровне пикселя MODIS; P_i и Z_i – значения СУ/СКС и запаса в пикселях Sentinel-2; i – количество пикселей Sentinel-2.

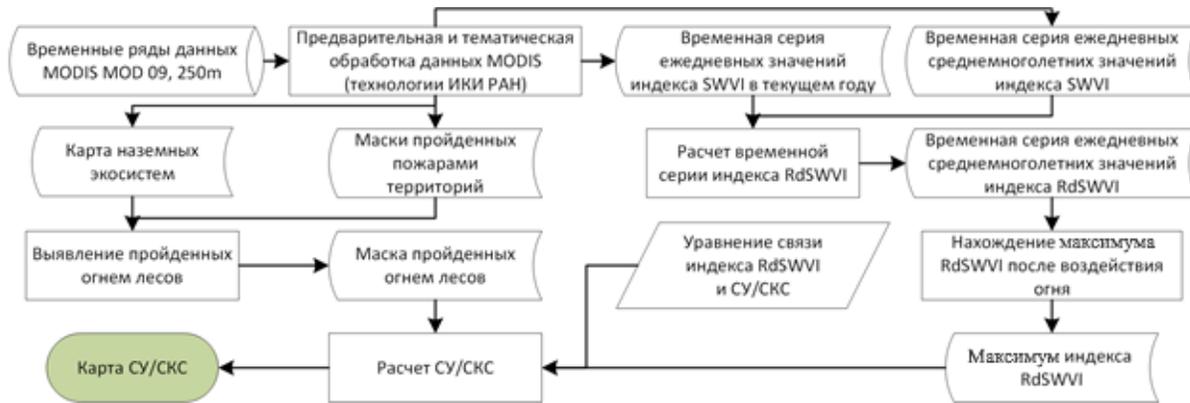


Опорные данные о показателе СКС на уровне пикселей MODIS

Наилучшее согласование с данными среднего пространственного разрешения показал подход с применением в качестве весовых коэффициентов данных о запасах стволовой древесины

Автоматизированный метод оценки степени повреждения лесов пожарами

Метод ежегодной оценки показателей СКС и СУ поврежденных пожарами лесов на уровне отдельных пикселей по данным ДЗЗ включает следующие основные этапы:



Логическая схема оценка степени повреждения лесов пожарами

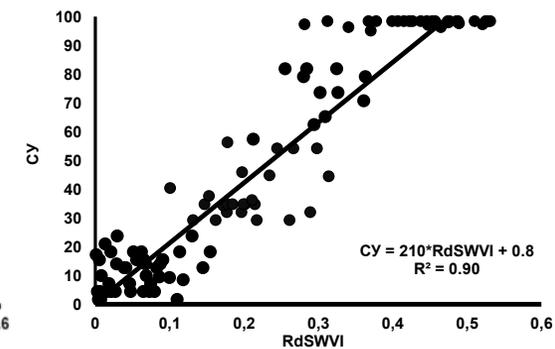
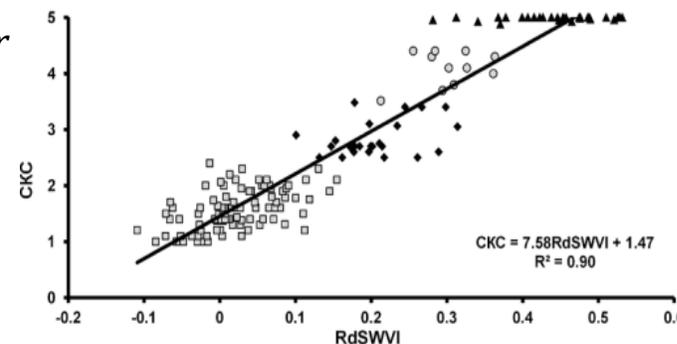
$$RdSWVI = \frac{SWVI_{pre} - SWVI_{post}}{\sqrt{SWVI_{pre} + 1}} \quad SWVI = \frac{R_{nir} - R_{swir}}{R_{nir} + R_{swir}}$$

где R_{nir} и R_{swir} – значения коэффициента спектральной яркости в ближнем и среднем ИК диапазонах, $SWVI_{pre}$ и $SWVI_{post}$ – значения вегетационного индекса SWVI лесного покрова соответственно до и после пожара.

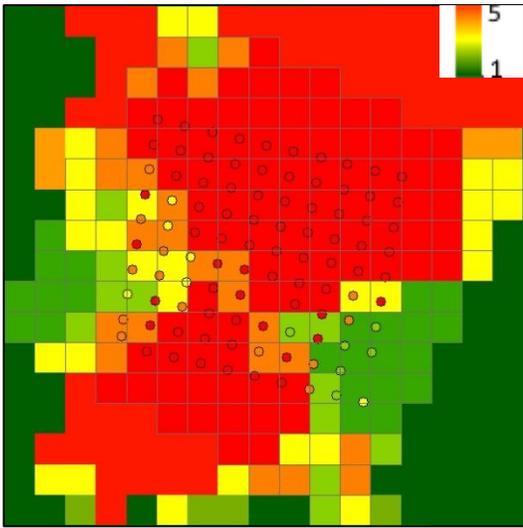
1. Построение ежедневной временной серии разностного вегетационного индекса RdSWVI, характеризующего отклонение его значений для поврежденного огнем леса от статистической нормы;

2. Расчет максимального значения индекса RdSWVI для каждого пикселя, для измерений, полученных после воздействия огня;

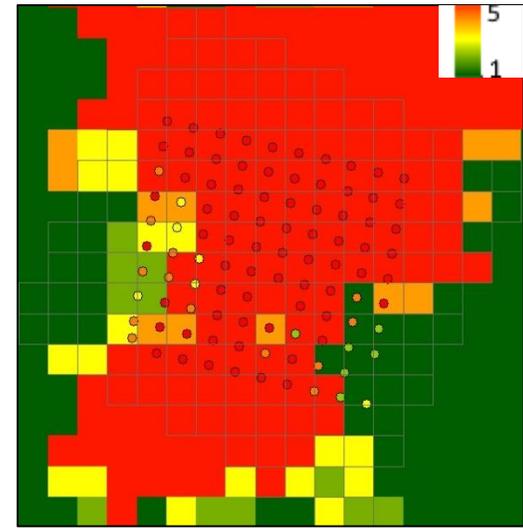
3. Оценка значений СКС и СУ на основе уравнения связи данных показателей и значения медианы индекса RdSWVI.



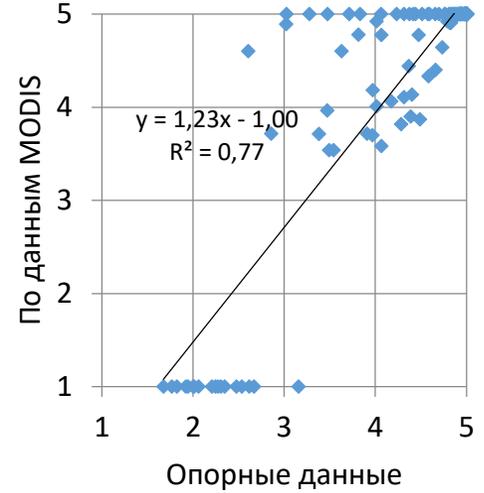
Сравнение оценок СКС по опорным данным с оценками, полученными автоматизированным методом



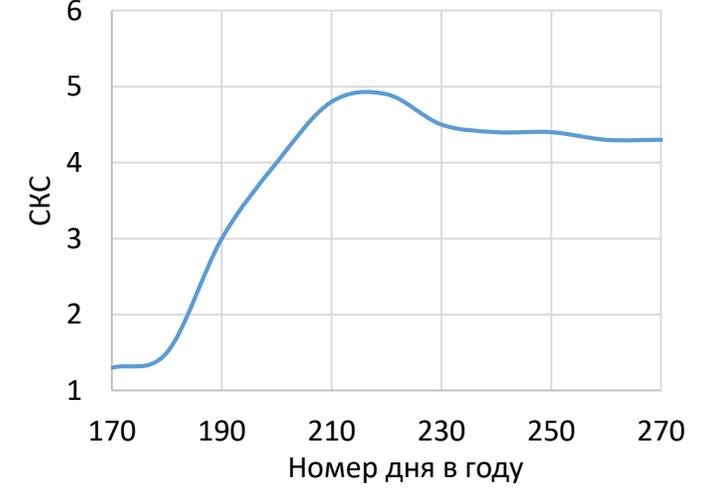
Опорные данные о показателе СКС на уровне пикселей MODIS



Данные о показателе СКС, полученные автоматизированным методом



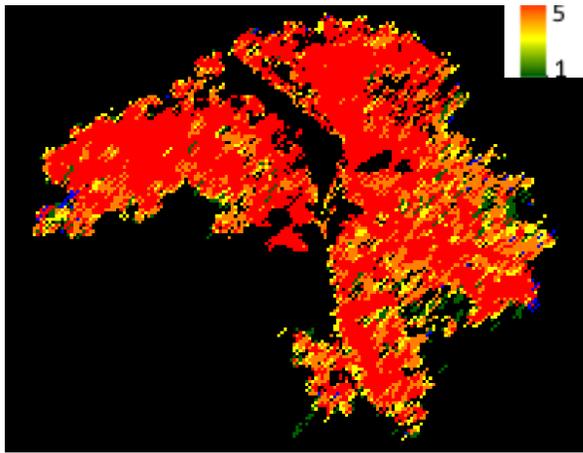
Взаимосвязь СКС по данным MODIS (с нахождением максимального значения индекса) и опорными данным



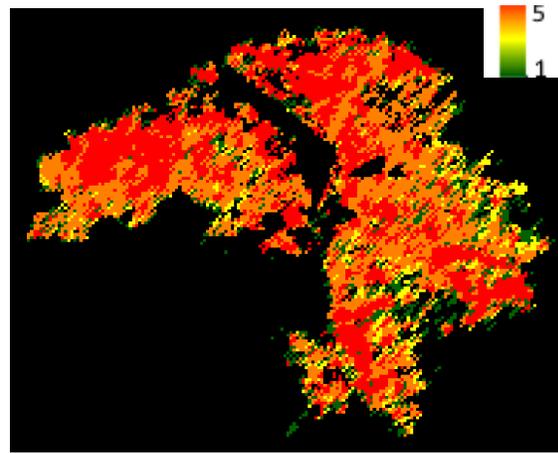
Характерная динамика значений СКС для пикселей с завышенной оценкой данного показателя на основе метода поиска максимума индекса RdSWVI

Сравнение оценок СУ и СКС по опорным данным с оценками, полученными автоматизированным методом по данным прибора MODIS показало, что метод автоматизированной оценки степени повреждения древостоя, с используемым критерием поиска максимума индекса RdSWVI, может в некоторых случаях приводить к завышению оценок СКС и снижению динамического диапазона данного показателя.

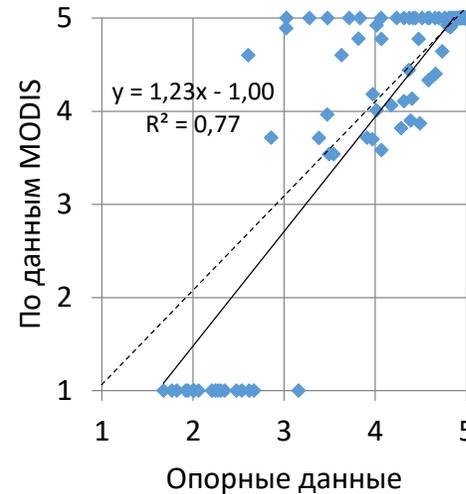
Поиск оптимального алгоритма выбора значения индекса RdSWVI



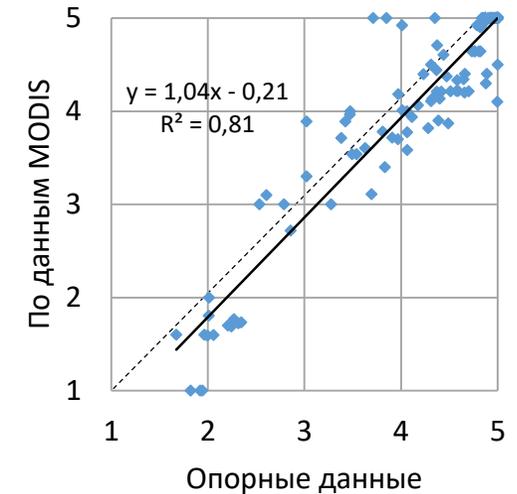
Данные о показателе СКС с использованием критерия нахождения максимального отклонения индекса



Данные о показателе СКС с использованием критерия нахождения медианного значения индекса



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



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/СУ, а также получить более согласованные с наземными данными результаты.

Выводы

Модифицированы существующие автоматические методы картографирования характеристик нарушенных пожарами лесов на основе спутниковых данных. Используются альтернативные критерии выбора постпожарного значения индекса RdSWVI. Наилучший результат получен при использовании медианного значения индекса RdSWVI после воздействия огня, который позволяет расширить динамический диапазон значений СКС/СУ, а также получить более согласованные с наземными данными результаты.

Дальнейшие исследования будут направлены на обработку данных наземных обследований, которые будут получены на территории вновь заложенных тестовых полигонов с нарушенными пожарами лесами. Полученные данные могут быть использованы, в частности, для коррекции уравнения связи показателей СКС и СУ и индекса RdSWVI.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учёта данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (госрегистрация № 124060500032-7). Использовалась инфраструктура хранения и обработки спутниковых данных Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2019).

Список литературы

1. Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 1. С. 254–266.
2. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
3. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.