

На правах рукописи



Стыщенко Федор Викторович

**РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ И
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ ПИРОГЕННОЙ
ГИБЕЛИ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

Специальность: 25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли,
фотограмметрия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

МОСКВА - 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте космических исследований Российской академии наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Барталев Сергей Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Романов Алексей Александрович,
АО «Российские космические системы»,
заместитель генерального директора по науке

кандидат технических наук
Плотникова Александра Сергеевна,
Учреждение Российской академии наук Центр
по проблемам экологии и продуктивности лесов
РАН, научный сотрудник

Ведущая организация: **Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Сибирский федеральный
университет»**

Защита состоится _____ 2016 года в _____ на заседании диссертационного совета Д 212.143.04 в Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., 4, МИИГАиК, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского государственного университета геодезии и картографии.

(http://miigaik.ru/nauka/dissertacionnyy_sovet/dissertatsii/20161019094502-8881.pdf)

Автореферат разослан «_____» _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Беленко В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Леса России регулярно подвергаются воздействию пожаров на огромной площади, измеряемой миллионами гектар. Вызываемые пожарами последствия для древостоев могут варьироваться от незначительных краткосрочных повреждений до полной их гибели в зависимости от типа пожара (подземный, низовой, верховой), его интенсивности и продолжительности, породной структуры лесов, их состояния, стадии фенологического развития и многих других факторов, характеризующих процессы горения и устойчивость насаждений к пирогенному воздействию.

Объективная и своевременная информация о последствиях пожаров, в частности, о пирогенной гибели лесов, необходима для решения широкого класса прикладных задач лесного хозяйства, включая планирование охраны и защиты лесов, лесопользование и лесовосстановление, актуализацию данных о лесных ресурсах. Данные о гибели лесов в результате воздействия пожаров являются неотъемлемой составляющей информационного обеспечения оценок объемов прямых и вторичных пирогенных эмиссий углекислого и других тепличных газов в атмосферу, выполняемых в рамках обязательств стран по условиям Киотского протокола, а также научных исследований по проблемам глобальных изменений климата и биосферы. Широкая сфера текущего и потенциального использования объективной информации о пирогенной гибели лесов в практической деятельности и научных исследованиях далеко не ограничивается приведенными выше примерами. Анализ существующих данных о гибели лесов России от пожаров свидетельствует об их крайней ограниченности, а имеющиеся оценки, приведенные в работах Г.Н. Коровина, А.С. Исаева и А.З. Швиденко, отличаются приблизительностью используемых для их получения подходов при неопределенном уровне достоверности получаемых результатов, что определяет **актуальность** представленной диссертационной работы.

Степень разработанности темы исследования. Традиционно оценка последствий лесных пожаров выполняется выборочно методами наземного лесопатологического обследования на основе визуальной оценки дефолиации или дехромации крон репрезентативной совокупности отдельных деревьев на пробных площадках с последующим определением интегральных характеристик состояния поврежденных насаждений. Очевидно, что использование такого рода методов сопряжено с существенными финансовыми и трудовыми затратами, а их регулярное применение в масштабах страны едва ли экономически оправданно и практически реализуемо. В последние годы в отечественной практике лесопатологических обследований все большее применение находят спутниковые изображения, позволяющие существенно повысить полноту выявления и точность определения площади усыхающих насаждений, а также более эффективно организовать наземную оценку количественных характеристик их состояния.

Возможность использования спутниковых данных для оценки степени повреждения лесов пожарами отмечалась в исследованиях А.С. Исаева, J. Epting, D. Verbyla, J.D. Miller, Z. Zhu, Е.Е. Ной, К.А. Murphy, J.D. Hall и др. Однако большинство исследований до настоящего времени носило локальный характер, часто ограничиваясь отдельными пожарами.

Разработанные к настоящему времени автоматические технологии спутникового мониторинга, рассмотренные в работах С.А. Барталева, Е.А. Лупяна, Г.Н. Коровина и др., обеспечивают фактически непрерывное выявление и оценку площади повреждений лесов России пожарами на основе комплексного использования данных дистанционного зондирования среднего и высокого пространственного разрешения. Будучи логическим продолжением вышеупомянутых исследований и разработок в области дистанционного мониторинга последствий лесных пожаров, описанные в настоящей работе исследования открывают новые возможности оперативного и регулярного сбора в масштабах страны информации о пирогенной гибели лесов.

Объектом исследования являются природные пожары в лесных экосистемах России. **Предметом исследования** являются методика и технология выявления и оценки погибших в результате воздействия огня лесов на основе использования спутниковых данных.

Цель и задачи исследований. Целью проведенных исследований является развитие методов и технологий обработки спутниковых данных для решения задачи оценки пирогенной гибели лесов. Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- исследование взаимосвязи между данными спутниковых измерений отражательной способности лесов и количественной характеристикой средневзвешенной категории состояния (СКС), отражающей последствия воздействия на них пожаров;
- разработка методики оценки пирогенной гибели лесов на основе измерений динамики их спектрально-отражательной способности с использованием временных рядов данных спутниковых наблюдений;
- разработка и программная реализация автоматизированной технологии оценки пирогенной гибели лесов на основе использования спутниковых данных;
- получение и анализ информации о гибели лесов России в результате воздействия пожаров в масштабах страны на основе разработанной автоматизированной технологии обработки спутниковых данных;
- разработка рекомендаций по результатам выполненного диссертационного исследования.

Научная новизна работы

- Разработана новая методика оценки пирогенной гибели лесов России, основанная на анализе постпожарной динамики спектрально-отражательных характеристик лесных экосистем в

ближнем и среднем ИК областях спектра. Предложенная методика предполагает использование данных систем дистанционного зондирования с высокой периодичностью наблюдений, что позволяет минимизировать влияние времени получения спутниковых изображений на результаты оценки степени повреждения лесов пожарами.

- Создана новая автоматизированная технология, впервые позволяющая получать регулярные, в том числе оперативные, данные о последствиях воздействия природных пожаров на леса России.
- На основе разработанной автоматизированной технологии обработки данных дистанционного зондирования впервые получены объективные оценки гибели лесов в результате воздействия пожаров в масштабах страны.
- На основе анализа полученных результатов установлены новые закономерности пространственно-временной динамики пирогенной гибели лесов России. Установлены существенные межгодовые различия интегрального показателя доли погибших лесов от пройденной огнем их площади. Получены количественные оценки сезонных различий в степени повреждения лесов России, позволившие статистически подтвердить известные положения о качественно различном уровне воздействия на леса весенних и летних пожаров. Также нашли статистическое подтверждение существенные различия в масштабах пирогенных повреждений лесов в зависимости от древесной породы.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- разработанная методика автоматизированной обработки данных ДЗЗ для оценки пирогенной гибели и повреждений лесов с использованием комплексных спектральных вегетационных

индексов с учетом временной динамики спектральных признаков и повреждений;

- разработанная и программно реализованная автоматизированная технология регулярной, в том числе оперативной, оценки пирогенной гибели и повреждения лесов России пожарами, основанная на использовании временных рядов данных ДЗЗ с высокой периодичностью съемки;
- полученные с применением разработанной автором технологии обработки спутниковых данных ДЗЗ объективные оценки пирогенной гибели лесов России и результаты их анализа.

Практическая значимость. Построенная на основе описанных исследований автоматизированная технология оценки пирогенной гибели лесов включена в состав информационной системы мониторинга лесов Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). Технология применялась для оценки повреждений и пирогенной гибели лесов, вызванных природными пожарами 2006-2015 гг. на всей территории России. Технология работает в автоматическом режиме и позволяет получать регулярные и полные оценки пирогенной гибели лесов.

Полученные автором результаты использованы при выполнении научных проектов, поддержанных Федеральным агентством лесного хозяйства, Российским фондом фундаментальных исследований, Министерством науки Российской Федерации и Русским географическим обществом.

Полученные результаты могут быть использованы для выработки оптимальных стратегий организации охраны лесов России от пожаров, направленной на минимизацию потенциального ущерба их ресурсному потенциалу, а также для проведения исследований в области влияния пирогенного фактора на биосферные функции лесов.

Теоретическая значимость. Выполненный в рамках работы совместный анализ количественных характеристик повреждений лесов пожарами и

значений дистанционно определяемых параметров показал, что для выявления и оценки пирогенной гибели лесов предпочтительно использование спектральных вегетационных индексов, основанных на измерениях в ближнем и среднем ИК каналах.

Было показано влияние даты получения постпожарного изображения на возможные результаты оценки последствия пожара и важность учета постпожарной динамики отражательных свойств лесов. Выбор произвольного постпожарного изображения может существенно повлиять на оценку последствий лесных пожаров, в частности, в ряде случаев приводить к ошибочному детектированию погибшего леса на слабоповрежденных участках и недооценке степени повреждения для сильноповрежденных лесов. Предложенная методика впервые позволила учесть временную динамику отражательных свойств лесов на основе использования временных рядов спутниковых наблюдений, в то время как большинство исследований основано на использовании одиночных постпожарных спутниковых изображений.

Выполненные исследования впервые позволили объективно оценить масштабы и многолетнюю изменчивость пирогенной гибели лесов. Выявлены сезонные различия в масштабах пирогенной гибели лесов, в частности, показаны различия в последствиях весенних и летних лесных пожаров. Результаты исследований также указывают на наличие существенных различий в масштабах пирогенных повреждений лесов в зависимости от древесной породы.

Методы научного исследования. Решение задач диссертационного исследования основано на использовании методов и технологий обработки и использования спутниковой информации. Существующие методы выявления пирогенной гибели лесов основаны на использовании одиночных постпожарных спутниковых изображений. Используемые в работе методы основаны на анализе межгодовой и сезонной временной динамики отражательных свойств лесов в ближней и средней ИК областях спектра на

уровне отдельных пикселей. В работе также использовались методы математической статистики и математического моделирования.

Апробация. Основные положения диссертации и полученные результаты доложены на 15 международных и российских симпозиумах, конференциях, семинарах и совещаниях, проведенных в Москве, Санкт-Петербурге, Йошкар-Оле и Женеве.

Публикации. По результатам исследований и разработок опубликованы 11 научных работ по теме диссертации, в том числе 9 научных работ в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК России.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 133 страницу, включая 43 рисунка и 8 таблиц. Библиографический список содержит 112 литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел посвящен обзору физических и методических основ оценки пирогенной гибели лесов на основе данных дистанционного зондирования.

Проанализированы имеющиеся данные о масштабах воздействия природных пожаров на лесные экосистемы России, измеряемого миллионами гектар ежегодно. При этом отмечено, что объективная и своевременная информация о пожарах и их последствиях в масштабах страны может быть получена только с использованием спутниковых данных. Показано, что, несмотря на ряд проведенных исследований по оценке пройденной огнем площади на территории России, важнейший вопрос пирогенной гибели лесов остается мало изученным.

Рассмотренные физические основы дистанционного мониторинга последствий воздействия пожаров на леса позволили сформулировать требования к спутниковым системам, данные которых могут использоваться для решения этой задачи. Показано, что доступные в настоящее время технические спутниковые средства позволяют получать необходимую для оценки последствий лесных пожаров информацию на основе выборочных данных высокого пространственного разрешения и регулярных измерений отражательных характеристик земной поверхности приборами низкого и среднего разрешения.

Выполнен обзор существующих подходов к дистанционной оценке последствий воздействия пожаров на леса. Рассмотрены возможности использования спектральных вегетационных индексов для мониторинга последствий лесных пожаров. Установлено, что большинство работ, сфокусированных на оценке степени повреждения лесов пожарами по спутниковым данным, носят исследовательский характер и ограничиваются исследованием отдельных крупных пожаров. Выполненный анализ позволил

обосновать необходимость разработки новой методики получения объективной информации о масштабах пирогенной гибели лесов в масштабах страны на основе спутниковых данных.

Второй раздел посвящен разработке методики оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных. Выполнена оценка взаимосвязей между количественными характеристиками повреждений лесов пожарами и значениями дистанционно определяемых параметров, полученных на основе данных оптических спутниковых систем. Проанализирована методика наземной оценки последствий повреждений лесов пожарами на основе средневзвешенной категории состояния (СКС) – интегрального показателя, характеризующего степень дефолиации и дехромации вегетативных органов деревьев. Использование результатов полевых обследований поврежденных пожарами лесов на территории Восточной Сибири позволило выполнить анализ информативности наиболее распространенных спектральных вегетационных индексов (рис. 1) для оценки характеристик состояния насаждений. Результаты анализа показали, что для выявления и оценки поврежденных пожарами лесов предпочтительно использование спектральных вегетационных индексов $RdSWVI$ и $dSWVI$, основанных на измерениях в ближнем и среднем ИК каналах:

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

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

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

При этом индекс $RdSWVI$ имеет существенно более низкий уровень variability значений для незатронутых пожарами территорий (рис. 1), а

также более высокий уровень географической инвариантности по сравнению с прочими участвовавшими в анализе индексами.

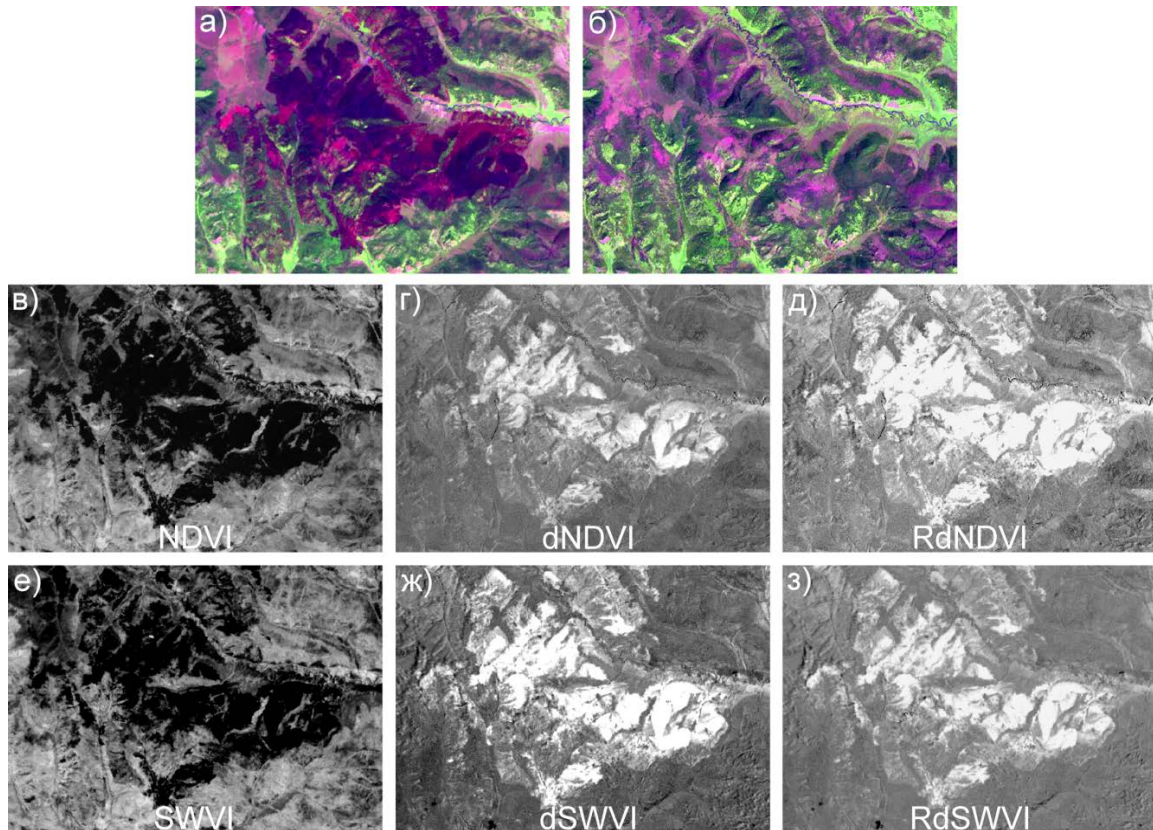


Рис. 1. Разновременные спутниковые изображения и рассчитанные на их основе спектральные вегетационные индексы на участок поврежденных пожарами лесов в Республике Бурятия: а) SPOT-HRVIR, 29.06.2009, б) Landsat ETM+ 22.07.2002 (RGB: SWIR-NIR-Red) в) NDVI, г) dNDVI, д) RdNDVI, е) SWVI, ж) dSWVI, з) RdSWVI

Выполненный анализ постпожарной динамики отражательных характеристик лесов показал существенные различия значений индекса RdSWVI в зависимости от даты получения изображений после воздействия огня. В частности, это позволило установить, что в среднем интервал между датой пожара и достижением максимума значения RdSWVI составляет 40-50 дней. Показано, что использование данных систем высокого пространственного разрешения может приводить в силу недостаточной частоты наблюдений к неизбежным ошибкам при оперативной оценке последствий воздействия огня.

Использование данных среднего пространственного разрешения, в свою очередь, позволяет учесть данный фактор за счет высокой периодичности съемки, а также частично компенсировать влияние фактора сезонной изменчивости спектрально-отражательных характеристик лесов.

В третьем разделе описана предложенная в диссертационной работе технология дистанционной оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных.

Экспериментальные исследования показали наличие описываемой линейной зависимостью связи (рис. 2) между значениями СКС и спектрального вегетационного индекса $RdSWVI$. Выявленный при этом низкий уровень взаимной разделимости по спутниковым данным категорий здоровых и ослабленных лесов привел к необходимости их объединения в группу насаждений, характеризуемых значениями $СКС \leq 2,5$.

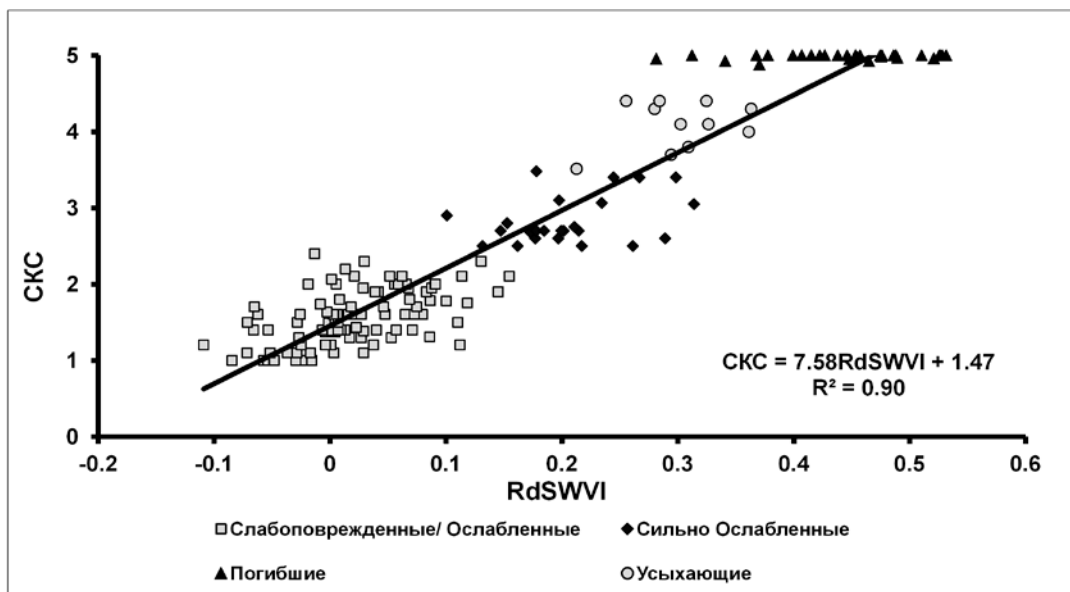


Рис. 2 Взаимосвязь между значениями вегетационного индекса $RdSWVI$ по данным Landsat-TM и СКС поврежденных пожарами лесов по результатам наземного обследования

Наличие возможности достаточно надежного выявления погибших лесов демонстрируют представленные на рисунке 3 аппроксимации функцией

нормального распределения гистограммы значений индекса $RdSWVI$ для различных категорий состояния поврежденных насаждений.

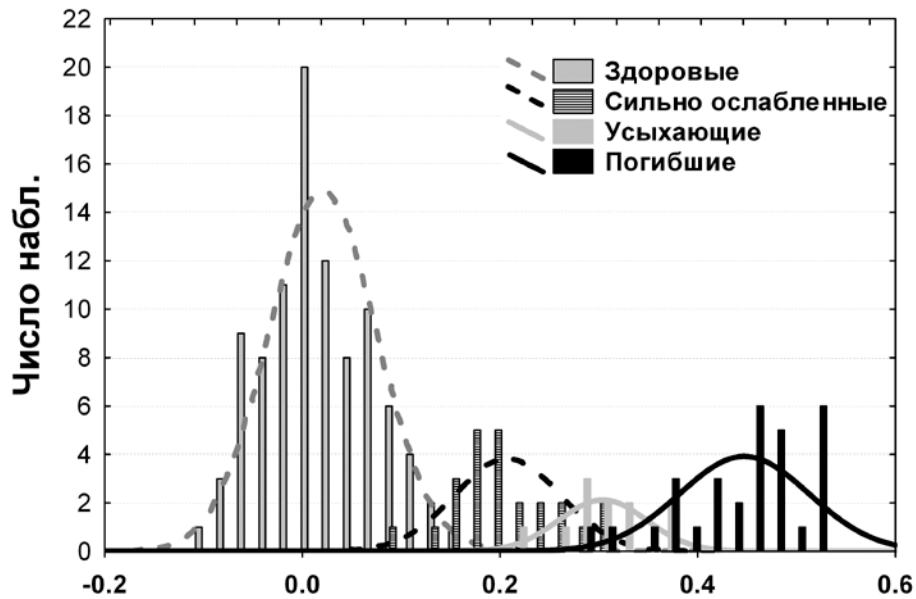


Рис. 3. Аппроксимация функцией нормального распределения гистограммы значений вегетационного индекса $RdSWVI$ для различных категорий состояния поврежденных пожарами лесов

Предложенная технология дистанционной оценки степени повреждения лесов пожарами основана на использовании данных ежедневных измерений их отражательной способности спектрометрией MODIS, в том числе, в ближнем (858 нм) и среднем (1640 нм) ИК каналах, и экспериментально установленной зависимости между значениями показателя СКС и спектрального индекса $RdSWVI$. Кроме того, технологией предусмотрено использование следующих, полученных на основе данных MODIS, информационных продуктов:

- Временной ряд ежегодно обновляемых карт растительного покрова России, отражающих, в том числе, покрытие территории страны лесами различных древесных пород;
- Временной ряд данных ежедневного детектирования пройденных огнем территорий на основе анализа сезонной динамики отражательной способности земной поверхности, охватывающий период 2006-2015 гг.

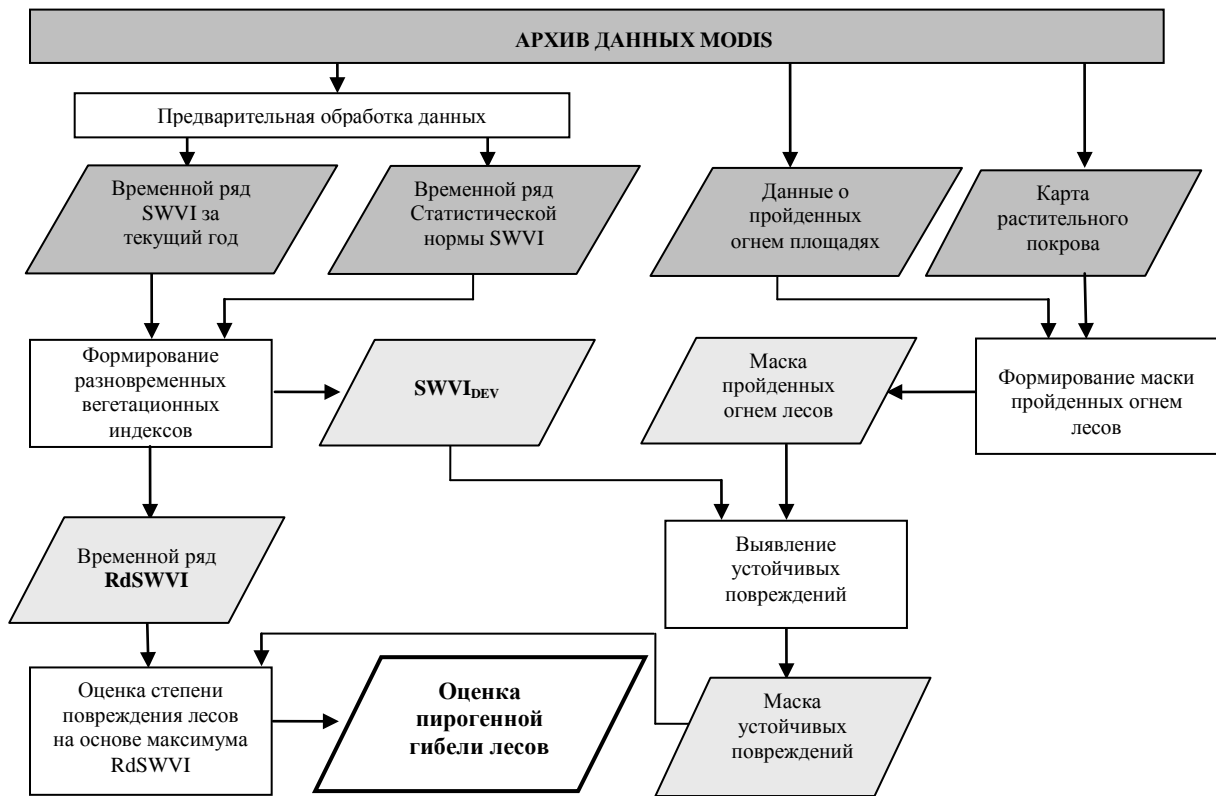


Рис 4 Логическая схема технологии оценки степени повреждения лесов пожарами

Технология оценки степени повреждения лесов пожарами включает последовательное выполнение следующих шагов (рис. 4):

- построение маски лесных пожаров на основе карты растительного покрова и результатов детектирования пройденных огнем территорий;
- построение очищенных от влияния облаков и других мешающих факторов многолетних рядов вегетационного индекса $SWVI$;
- оценка на основе исторических спутниковых данных параметров статистической нормы сезонной динамики $SWVI$, включая среднемноголетнее значения M_{swvi}^N и стандартное отклонение σ_{swvi}^N вегетационного индекса для каждого пиксела изображения и календарного дня года;
- построение на основе значений $SWVI$ временных рядов индекса $RdSWVI$ с использованием M_{swvi}^N в качестве значения вегетационного индекса лесного покрова до его повреждения пожаром;

- фильтрация участков с неустойчивым проявлением повреждений лесов пожарами на основе интегрированных по времени относительных (т.е. выраженных в количестве σ_{swvi}^N) отклонений $SWVI_{dev}$ в качестве меры расстояния между временными рядами значений $SWVI$ и M_{swvi}^N ;
- оценка показателя СКС для участков с устойчивым проявлением повреждений лесов пожарами на основе максимального значения индекса $RdSWVI$ в текущем сезоне в период после воздействия огня.

Необходимость фильтрации участков с неустойчивым проявлением повреждений лесов обусловлена наличием отличных от воздействия пожаров на древесную растительность факторов, вызывающих отклонения значений $SWVI$ от своей статистической нормы. К числу факторов такого рода можно, в частности, отнести повреждения низовыми пожарами низкой интенсивности напочвенного покрова без существенного воздействия на древостой, а также отличную от среднегодовалой фенологическую динамику лесов в виду нехарактерных метеорологических условий. Такого рода отклонения, как правило, носят краткосрочный характер, в то время как пирогенные усыхания древостоев проявляются в более устойчивых изменениях их спектрально-отражательных характеристик. Характерные примеры устойчивого и неустойчивого отклонения сезонной динамики значений $SWVI$ от статистической нормы вегетационного индекса представлены на рисунке 5.

Оценка значений показателя СКС на основе величины постпожарного максимума $RdSWVI$ в текущем сезоне выполняется только для лесов с устойчивым проявлением пирогенных повреждений. Использование величины постпожарного максимума вегетационного индекса для оценки значений показателя СКС лесов обусловлено принятым при разработке методики постулатом неререверсивности динамики их пирогенного усыхания в текущем сезоне.

Созданная технология обеспечивает автоматическую оценку пирогенной гибели лесов с пространственным разрешением 230 м для всей территории России. Реализованная технология позволяет получать оценки гибели лесов,

как в оперативном режиме в течение пожароопасного сезона, так и в режиме обработки исторических данных.

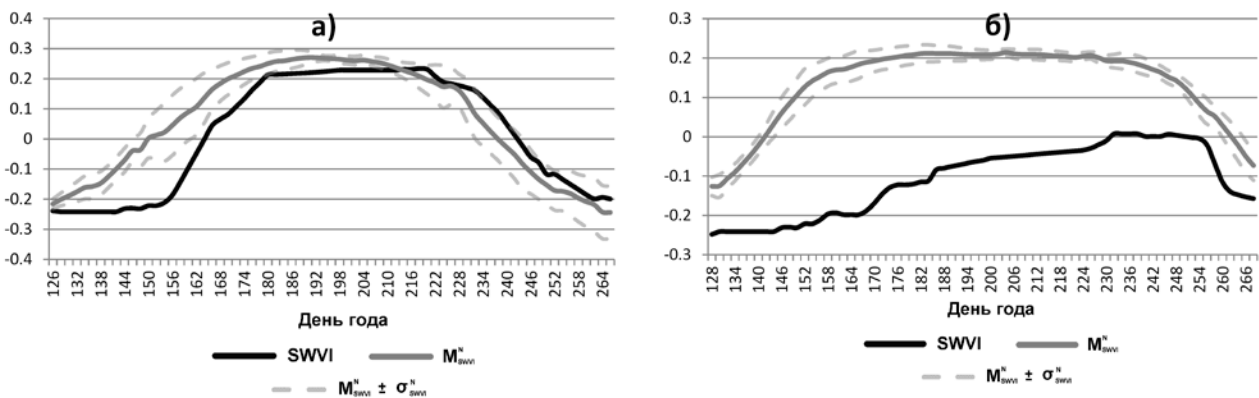


Рис. 5. Примеры сезонной динамики значений SWVI на участках пройденных пожарами лесов с (а) неустойчивым и (б) устойчивым отклонением от статистической нормы

В четвертом разделе представлен анализ результатов применения разработанной технологии для оценки пирогенной гибели лесов на территории России с 2006 по 2015 год, а также представлены оценки достоверности полученных результатов.

Оценка достоверности разработанной технологии была выполнена на основе сравнения с опорными данными наземных обследований 286 участков погибшего леса на территории Красноярского края. В результате, достоверность выявления погибших насаждений составила 88,4%. Результаты работы технологии также сравнивались с альтернативными оценками пирогенной гибели лесов на территории России, полученными сотрудниками Университета шт. Мэриленд по результатам обработки данных спутниковой системы Landsat. Было установлено, что при сравнении пирогенной гибели от пожаров 2006-2011 гг., интегральные показатели площади выявленных участков погибших лесов отличались на 7%. За указанный период среднегодовая оценка площади погибших лесов, выявленных предложенной соискателем методикой, составили в среднем 1,69 млн га, в то время как по

данным Университета шт. Мэриленд площади погибших лесов составили в среднем 1,54 млн га ежегодно. Несмотря на различия в тематическом содержании и способе получения указанных результатов, они демонстрируют достаточно высокий уровень согласованности.

Использование разработанной в рамках диссертационной работы технологии оценки последствий лесных пожаров и наличие многолетнего архива данных MODIS дало возможность построить временной ряд цифровых карт показателя СКС пройденных пожарами лесов на территории страны с пространственным разрешением 230 м (рис. 6) и позволило впервые получить однородные инструментальные оценки масштабов ежегодной пирогенной гибели лесов России в период 2006-2015 гг.

Согласно полученным данным общая площадь погибших в период 2006-2015 гг. лесов составила около 23,90 млн. га. Размах межгодовых вариаций пирогенной гибели насаждений характеризуется широким диапазоном от 0,57 млн. га до 6,67 млн. га с достижением максимальной величины в 2012 году, отмеченным экстремальным уровнем горимости лесов России. Доля погибших лесов от пройденной огнем их площади колеблется в различные годы в диапазоне от 27,6% до 67,4%, а ее среднемноголетняя величина составляет 47,5% (рис. 7). Обнаружен монотонный, начиная с 2008 по 2014 гг., рост доли погибших насаждений в общей пройденной огнем площади лесов России (рис. 7). Рассмотрение причин феномена возрастания разрушительной силы лесных пожаров может лежать как в плоскости поиска трендов метеорологических факторов, определяющих интенсивность горения, так и исследований его возможной обусловленности повышением уровня горимости в лесах, характеризующихся меньшей пожароустойчивостью.

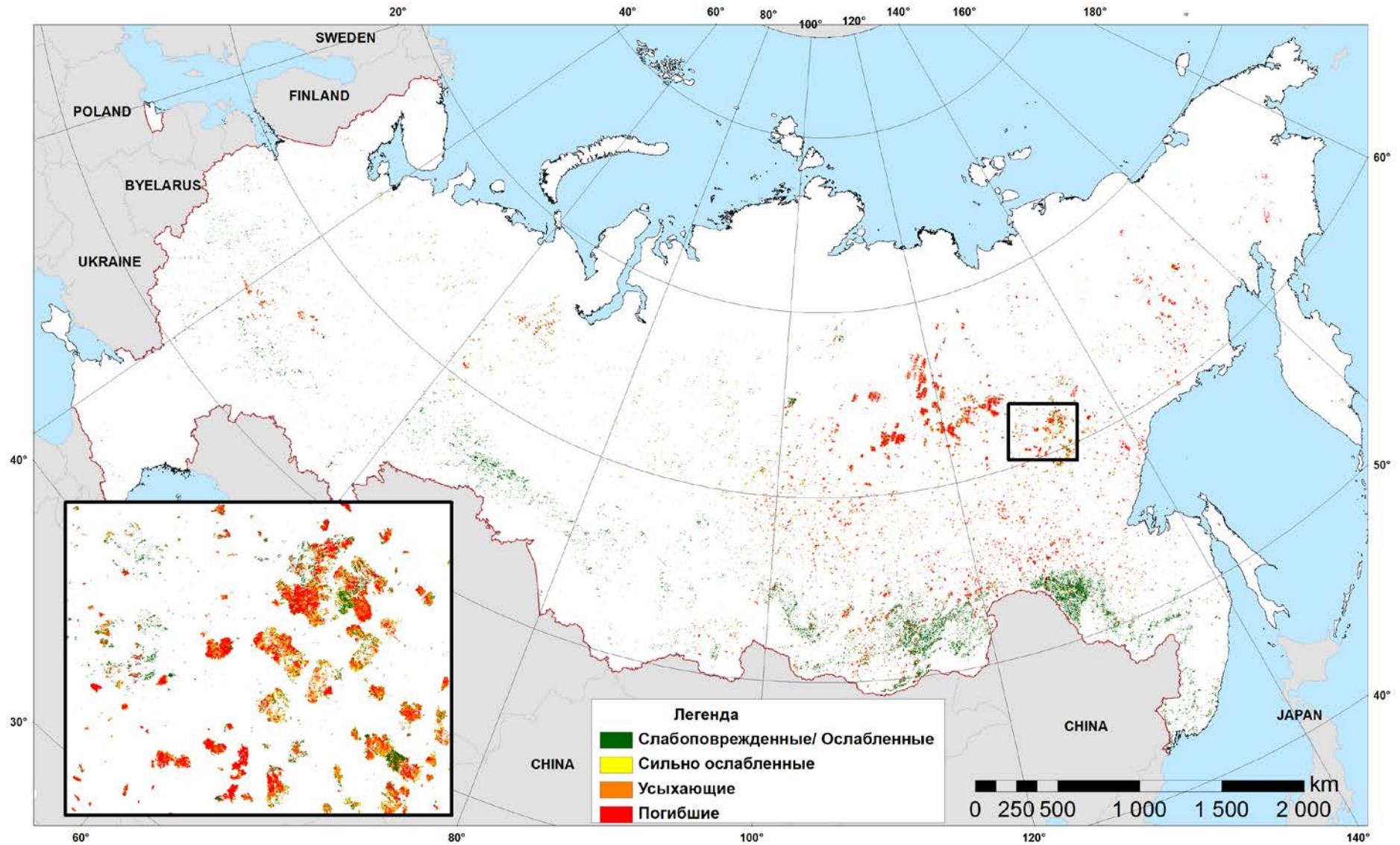


Рис. 6 Построенная на основе спутниковых данных карта повреждений лесов России пожарами 2006-2015 гг

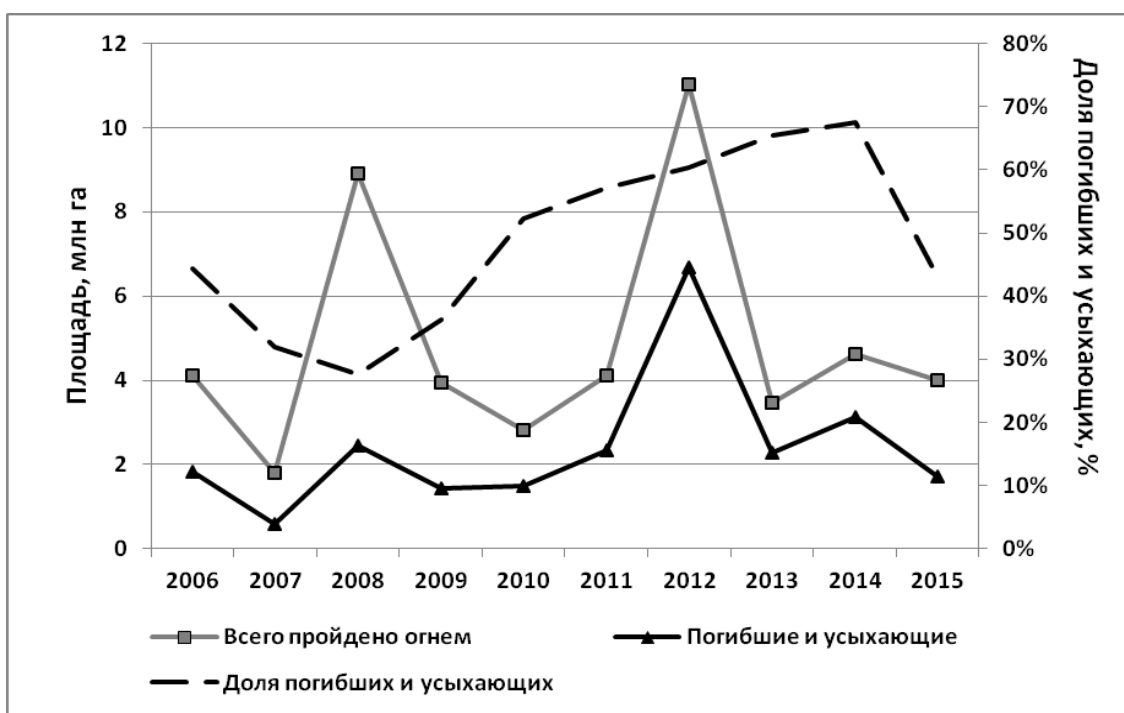


Рис. 7. Многолетние вариации характеристик воздействия пожаров на леса России

Анализ полученных на основе разработанной технологии данных позволил также установить наличие выраженной сезонной динамики пройденной огнем площади и пирогенной гибели лесов России (рис. 8). Среднемноголетняя сезонная динамика пройденной огнем площади характеризуется достижением максимума горимости в августе, а возникающие в этом месяце пожары затрагивают около 24,7% повреждаемых за год площади лесов. Одновременно, следует отметить низкий уровень деструктивного воздействия весенних пожаров, приводящих к гибели лесов лишь на 13,0% пройденной огнем территории. Максимальные же повреждения лесам причиняют пожары, возникающие в июле, сопровождаемые гибелью до 77% пройденных огнем насаждений.

Совместный анализ полученных результатов и карты растительного покрова России позволил впервые количественно оценить масштабы пирогенных поврежденных и погибших лесов в зависимости от их видового состава для всей территории страны. Результаты исследований указывают на наличие существенных различий в масштабах пирогенных повреждений лесов

в зависимости от древесной породы, среди которых в структуре погибших насаждений доминируют лиственничники, в то время как лиственные породы подвержены деструкции от воздействия огня в наименьшей степени.

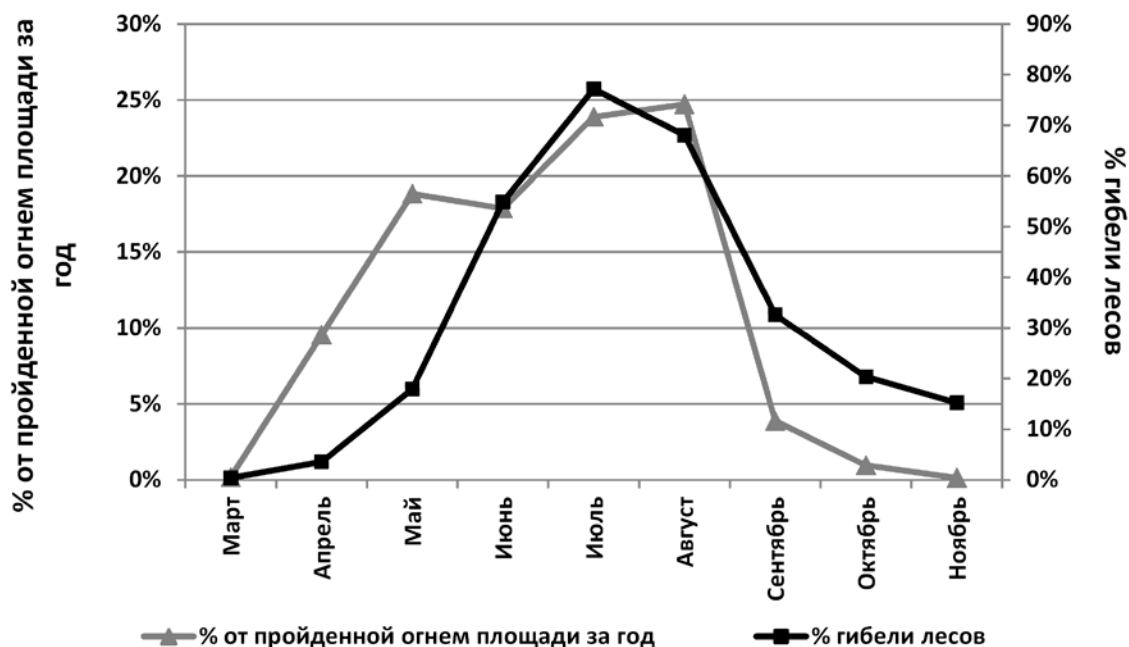


Рис. 8. Среднемноголетняя сезонная динамика пирогенных повреждений лесов России. Оценка доли пройденной огнем площади лесов в соответствующем месяце получена по отношению к общей площади пожаров за год. Доля погибших лесов оценена по отношению к площади пожаров за данный месяц

Оценка доли пирогенной гибели в пройденной огнем площади лесов данной породы, которая может служить критерием их пожароустойчивости, показала, что темнохвойные леса обладают наименьшим, а лиственные леса наибольшим уровнями устойчивости к деструктивному воздействию огня. Более глубокая оценка пожароустойчивости древесных пород требует привлечения карт, более детально отражающих породную структуру лесов, и может быть предметом дальнейших исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа содержит полученные автором результаты, которые могут быть рассмотрены как решение научной задачи разработки методики оценки пирогенной гибели лесов на основе спутниковых данных, являющейся частью научной проблемы дистанционного мониторинга динамики растительности.

В диссертации проведен анализ исследований в области оценки последствий воздействия пожаров на леса и показана возможность использования спутниковых данных для объективной оценки гибели и повреждений лесов в результате воздействия огня. Проведенные исследования позволили оценить информативность спектральных признаков, полученных на основе спутниковых измерений, для оценки последствий пожаров, а также установить их взаимосвязи с количественными характеристиками последствий лесных пожаров. Предложенная в диссертационной работе методика оценки пирогенной гибели лесов основана на использовании данных спутниковых систем с высокой периодичностью наблюдений, что позволяет выполнять анализ временной изменчивости отражательных свойств лесов после воздействия пожара. Разработанная методика была реализована в виде автоматической технологии, обеспечивающей регулярное получение оценок гибели и повреждений лесов пожарами на всей территории России.

Применение разработанной технологии позволило впервые получить объективные данные о повреждениях и пирогенной гибели лесов для всей территории России за 2006-2015 гг., которые открыли возможность не только количественно оценить масштабы, но и исследовать многолетнюю изменчивость пирогенной гибели лесов. Полученные результаты могут быть использованы для выработки оптимальных стратегий организации охраны лесов от пожаров, направленной на минимизацию потенциального ущерба их ресурсному потенциалу, а также для проведения исследований в области влияния пирогенного фактора на биосферные функции лесов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. *Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // *Лесоведение*, 2015. № 2. С.83-94.
2. *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.
3. *Барталев С.А., Егоров В.А., Крылов А.М., Стыценко Ф.В., Ховратович Т.С.* Исследование возможностей оценки состояния поврежденных пожарами лесов по данным многоспектральных спутниковых измерений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2010. Т.7. № 3. С.215-225.
4. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V. Yu., Flitman E.V., Loupian E.A., Stytsenko F.V.* Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery // In F. Achard & M.C. Hansen (Eds.) *Global Forest Monitoring from Earth Observation*, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN 978-1-4665-5201-2, 2013. CRC Press. P.259-286.
5. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В.* Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2012. Т. 9. № 2. С.9-27.
6. *Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Панова О.Ю., Ефремов В.Ю.* Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2014. Т. 11. №. 1. С.9-20.
7. *Кашицкий А.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Барталев С.С., Балашов И.В., Ефремов В.Ю., Стыценко Ф.В.* Оптимизация интерактивных процедур

- картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т.12. № 4. С.7-16.
8. *Лупян Е.А., Барталев С.А., Еришов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жарко В.О., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П.* Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т.12. № 5. С.222-250.
9. *Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В.* Сравнительный анализ результатов детектирования пройденных огнем площадей территории Северной Евразии по данным SPOT-Vegetation и Terra-MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2008. Выпуск 5. Т. 2. С.292-296.

Научные статьи:

10. *Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Барталев С.С.* Метод выявления постпожарных усыханий лесов на основе спутниковых данных MODIS // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва, 20-22 апреля 2016 г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2016. С. 147-149.
11. *Стыценко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Метод оценки степени повреждения лесов пожарами по спутниковым данным MODIS // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: доклады V Всероссийской конференции, посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И. Сухих и Г.Н. Коровина (Москва 22-24 апреля 2013г.) - М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С.211-214.