

SPECTRAL AND TEXTURAL ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES OF THE FOREST FIRES OF THE REPUBLIC OF BURYATIA ON THE BASIS OF RESOURCE-P, KANOPUS-V AND METEOR-M DATA

Irina I. Kirbizhekova, Tumen N. Chimitdorzhiev, Arkady K. Baltukhayev

Institute of Physical Material Science, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, Russia

Abstract

The report presents the results of a study of the spectral and texture characteristics of forest fires in the Republic of Buryatia on multispectral and panchromatic images of the Russian satellites Resource-P, Kanopus-V and Meteor-M from 2015–2016.

Keywords: remote sensing, Resource-P, Kanopus-V, Meteor-M, forest fires, spectral analysis, texture

СПЕКТРАЛЬНЫЙ И ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОЧАГОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕСУРС-П, КАНОПУС-В И МЕТЕОР-М

Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Балтухаев А.К.

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ

В докладе представлены результаты исследования спектральных и текстурных характеристик очагов лесных пожаров Республики Бурятия на мультиспектральных и панхроматических изображениях отечественных спутников Ресурс-П, Канопус-В и Метеор-М 2015-2016 гг.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, Ресурс-П, Канопус-В, Метеор-М, лесные пожары, спектральный анализ, текстура.

Введение. В настоящее время в рамках выполнения ФЦП «Федеральной космической программы России на 2016-2025 гг.» сформирована орбитальная группировка отечественных спутников, предназначенных для дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Создана и непрерывно пополняется база спутниковых данных оптического диапазона Ресурс-П, Канопус-В, Метеор-М с широкими возможностями выбора по детальности и обзорности съемки [1, 2]. В связи с этим стали актуальными задачи масштабного внедрения методов ДЗЗ для решения разнообразных задач.

Для Республики Бурятия (РБ) наиболее актуально применение методов и возможностей ДЗЗ для информационной поддержки и решения таких задач лесного хозяйства как инвентаризация лесных ресурсов, мониторинг плановых и незаконных вырубок, лесопатологии, мониторинг лесных пожаров и т.д. [3]. Леса покрывают до 80% территории РБ, являясь основным компонентом биосферы и в глобальном и в региональном масштабах. На глобальном уровне леса играют важную роль в процессах сохранения водного баланса, поглощения углекислого газа, выработки кислорода и др. На региональном уровне леса являются основой биоразнообразия, средой обитания животного мира и людей, а также для отдыха и экономической деятельности населения. От правильной эксплуатации лесов зависит решение таких важных задач, как повышение продуктивности биосферы, рациональное использование земельных и водных ресурсов, получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур, обеспечение благоприятных условий для жизни человека и т.п. Из-за сложного рельефа и значительной протяженности территории около 60% лесов РБ может быть охвачено средствами наземного контроля или авиасъемки.

Огромный ущерб лесным ресурсам ежегодно наносят лесные пожары. Пожарная опасность и фактическая горимость лесов зависят от многочисленных природно-климатических и антропогенных факторов [4, 5]. Лесной фонд Республики Бурятия (РБ) в основном хвойный относится к классам I-III повышенной пожарной опасности (74.6%). В засушливые годы пожароопасный период достигает 70-85% от продолжительности сезона вегетации (апрель-октябрь) [6]. В среднем за год происходит 1117 лесных пожаров на площади порядка 85 тыс.га. Последние пики лесных пожаров пришлись на 2003 и 2008-2009 г.г., когда площадь пожаров достигала 100-200 тыс.га/год. Основными причинами возгорания считаются человеческий фактор (81,3%), грозы (14,1%) и сельскохозяйственные палы (4,6%) [5].

В последние три года 2015-2017 г.г. из-за отсутствия или незначительного количества осадков в период апрель-июнь, повышенной температуры вплоть до +40°C, сильных ветров пожароопасная ситуация очень сложна. Несмотря на принимаемые меры и действие на всей территории РБ режима ЧС резко возросло как количество очагов пожаров, так и их площадь. Общая площадь, пройденная огнем только за первые три месяца (апрель-июнь), достигает значений порядка 100 тыс га.

До некоторой степени, такое положение обусловлено отсутствием надежных методов прогноза условий возникновения лесных пожаров, средств оперативного контроля и разведки, а также соответствующих систем автоматизированной обработки оперативной информации

для выработки стратегии и тактики борьбы с ними. На современном этапе технического развития и формирования российской орбитальной группировки спутников дистанционного зондирования Земли эти вопросы экономически целесообразно и актуально решать соответствующими методами.

Объектом исследования данной работы является изучение возможностей спектрального и текстурного анализа очагов лесных пожаров на мультиспектральных и панхроматических изображениях, полученных спутниками Ресурс-П Канопус-В, Метеор-М по территории РБ в 2015-2017 г.г. Результаты этого исследования предполагается использовать в дальнейшем для изучения условий возникновения лесных пожаров и прогнозирования пожароопасности лесного фонда РБ.

Характеристика территории исследования. РБ расположена в центре Азиатского континента. С севера и запада территория РБ омывается водами озера Байкал, на востоке граничит с Забайкальским краем, на западе и севере – с Иркутской областью, на юго-западе – с Республикой Тыва, на юге проходит государственная граница с Монголией. Территория РБ входит в горную систему, занимающую значительную часть юга Восточной Сибири, и характеризуется мощными горными хребтами и обширными, глубокими и иногда почти замкнутыми межгорными котловинами. Практически на всей территории преобладают сильно расчлененные горы, равнинные поверхности встречаются лишь в тектонических впадинах и долинах крупных рек. Площадь гор более чем в 4 раза превышает площадь, занимаемую низменностями. Для РБ характерна значительная приподнятость над уровнем моря от 456 м над уровнем моря (оз.Байкал) до 3491 м (г.Мунку-Сардык в Восточных Саянах).

Для территории РБ характерен резко континентальный климат с большими годовыми и суточными колебаниями температуры воздуха и с неравномерным распределением атмосферных осадков по сезонам года и по территории. Продолжительность солнечного сияния составляет 1900-2200 часов/год. Среднегодовая температура –1,6 °С. В летний период температура поднимается до значений +40°С, в среднем +18,5°С. В зимний период температура опускается до –50 °С, в среднем –22°С. Количество осадков варьируется от 150 до 350 мм, в среднем 244 мм, из них 60-70% в июле-августе [5, 7]. Наличие горных хребтов разной высоты и ориентации, существование межгорных впадин и межгорных долин сильно влияет на местную циркуляцию воздушных масс создавая мозаичную неоднородную картину климата.

Леса покрывают большую часть территории РБ. Разнообразием экологических и социально-экономических функций леса образуют основу всех природных комплексов. Воздействуя на баланс воды, плодородие почв, биологическое разнообразие, леса являются также источником лесной продукции, основной из которой является древесина. Общая площадь занятая лесной растительностью по состоянию на 01.01.2013 г. составляет 29,638 млн га, или 84,4% от общей земельной площади. Общий запас древесины на территории РБ составляет 2229,89 млн.м³ с годичным приростом 25,91 млн.м³. На основе различий природно-климатических условий леса РБ территориально относятся к южно-сибирской горной зоне на площади 28224,6 тыс. га, частично к таежной зоне на площади 1413,8 тыс. га и занимают четыре лесных района: байкальский горный лесной – 13566,8 тыс.га, забайкальский горно-мерзлотный – 11077,9 тыс.га, алтае-саянский горно-таежный – 3579,9 тыс.га и восточно-сибирский таежный мерзлотный – 1413,8 тыс.га. По целевому назначению леса разделены на защитные - 39,0%, эксплуатационные - 33,1% и резервные - 27,9% [5, 8].

Основные лесобразующие породы РБ разделены на 3 группы: хвойные породы 75,5% (лиственница, сосна, кедр); мягколиственные 8,7% (береза, осина) и кустарники 15,8%. Локально-территориальные вариации породного состава лесов РБ зависят от вертикальной зональности лесов, определяющей климатические и почвенные условия. Выделены 9 высотных лесорастительных поясов: степной; лесостепной; светло-хвойный таёжный; мерзлотный таёжный; кедрово-пихтовый таёжный; кедровый таёжный; субальпийский; подгольцовый; тундрово-гольцовый. В целом по территории РБ породная структура насаждений характеризуется формулой: 5Лц2С2К1Б+Е,П,Ос (где Лц – лиственница, С – сосна, К – кедр, Б – береза, Е – ель, П – пихта, Ос – осина).

Характеристика оптических спутниковых данных по РБ. С 2015 г. ИФМ СО РАН стал получать на территорию РБ снимки оптического диапазона Ресурс-П, Канопус-В с пространственным разрешением от 0,7 до 30 м от НЦ ОМЗ АО «Российские Космические Системы». С 2016 г. мультиспектральные данные Метеор-М с пространственным разрешением 60 м. На рисунке 1 представлены схемы покрытия территории РБ оптическими данными Ресурс-П, Канопус-В за 2015-2016 г.г. и Метеор-М в августе 2016 г. Предварительный анализ показал значительное искажение спектральных и текстурных свойств большинства оптических снимков из-за высокой и неоднородной степени задымленности исследуемой территории в период лесных пожаров 2015-2016 г.г., в отдельных случаях до 80-100% площади снимка. Возможность локализации и исследования очагов лесных пожаров на таких снимках оказалась значительно ограниченной. В 2015 г. сезон пожаров продолжался с апреля по сентябрь, а в середине октября уже выпал снег, поэтому снимки пригодные для автоматизированной обработки единичны. В 2016 г. в результате обильных осадков 9-12 августа (2-3 нормы) сезон пожаров закончился раньше и снимки, полученные в конце августа и сентябре, оказались достаточно хорошего качества. Фактическая степень покрытия РБ снимками хорошего качества порядка 10-20%. Также необходимо отметить, что из-за большой площади очагов лесных пожаров зачастую на снимках с хорошим пространственным разрешением (не менее 10 м) попадает только 30-50% объекта исследования. Для получения общей картины поражения лесов пожарами на территории РБ наиболее оптимальны обзорные снимки Метеор-М, но с низким пространственным разрешением 60 м. Для этого оказалось достаточно 4-5 снимков.

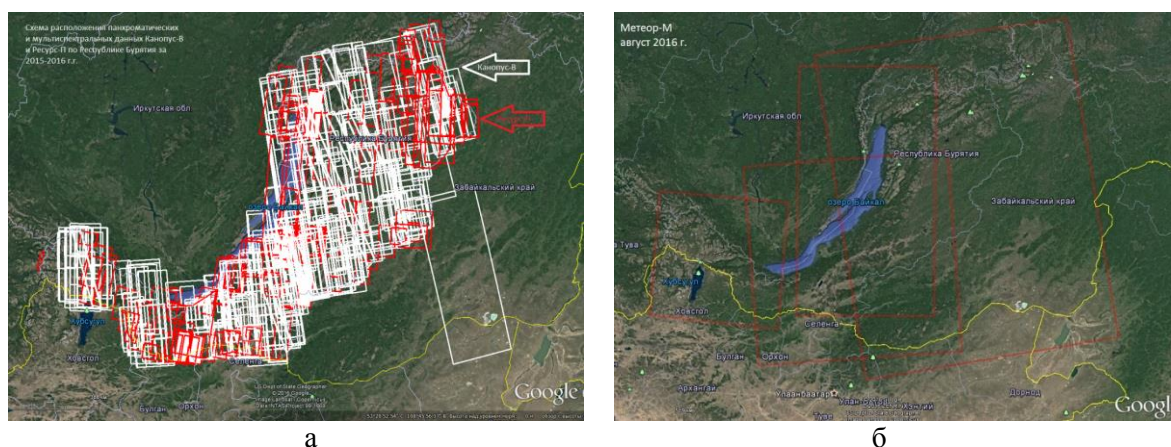


Рис. 1. Схема покрытия Республики Бурятия данными: а – Ресурс-П (контуры красного цвета) и Канопус-В (белого цвета) за 2015-2016 г.г.; б – Метеор-М в августе 2016 г.

Спектральный и текстурный анализ оптических данных по РБ. Для оценки последствий лесных пожаров сезонов 2015-2016 г.г. были сгенерированы мета-файлы с текстурными характеристиками панхроматических изображений, а также спектральные мета-файлы и проведен сравнительный анализ изображений, полученных до и после лесных пожаров периода 2015-2016 г.г.

На рисунке 2 представлены два фрагмента съемки Метеором-М Хоринского р-на РБ на 21 мая 2016 г. и 09 мая 2017 г. Лесистость данного р-на составляет 80,2%, общая площадь леса – 1158,6 тыс.га. На территории р-на 3 лесничества. Формулы породного состава: в Курбинском лесничестве – 4С3К3Лц+Ос; Верхне-Талецком – 8С2Лц+К+Б; Хоринском – 5С5Лц+К. На снимках хорошо видны зоны поражения леса пожарами в виде темных пятен неправильной формы: на первом снимке от очагов пожаров 2015 г., на втором и старые и новые, появившиеся в 2016 г.

Технология оценки потерь лесного фонда апробирована на примере Курбинского лесничества. Анализ данных Канопус-В и Ресурс-П, полученных в апреле-июне 2015 г. по данной и прилегающим территориям показал недостаточность информации для определения породного

состава и других характеристик лесной растительности, отчасти из-за начальной фазы вегетативной деятельности (в апреле-мае), отчасти из-за сильного задымления вследствие начавшихся масштабных лесных пожаров (в мае-июне). Поэтому дополнительно были привлечены мультиспектральные и панхроматические снимки спутника SPOT6 от 13 сентября 2013 г., с пространственным разрешением 6 м и 1,5 м соответственно. Классификация произведена на основе спектральных характеристик 20-ти тестовых участков исследуемой территории методом SAM (Spectral Angle Mapper). Для устранения высокой степени раздробленности результатов классификации произведены дополнительные процедуры обработки с устранением изолированных пикселей, созданием замкнутых однородных областей площадью от 1 сотки и более (минимальная площадь лесных выделов) и слиянием близких по спектральным характеристикам классов.

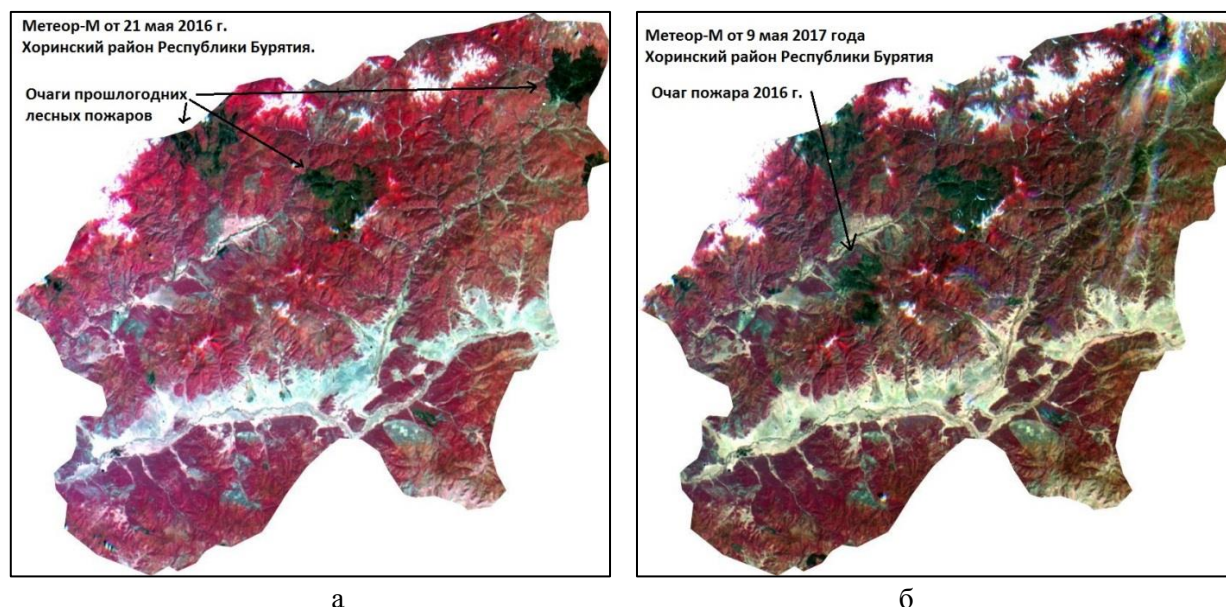


Рис. 2. Старые и новые зоны поражения лесными пожарами на территории Хоринского р-на РБ на снимках Метеор-М (R – 0.83 мкм, G – 0.655 мкм, B – 0.555 мкм): а – 21 мая 2016 г.; б – 09 мая 2017 г.

Для локализации отдельных участков, пострадавших от лесных пожаров также использованы мультиспектральные и панхроматические снимки, полученные Ресурс-П 19 сентября 2015 г., с пространственным разрешением 25 м и 12 м соответственно.

Результаты классификации выполненных контролируруемыми и неконтролируемыми методами по участкам лесных пожаров показали незначительные отличия. На основе спектральных характеристик и текстуры изображений выделены и векторизованы 3 кластера, соответствующих 3-м степеням повреждения лесной растительности. Кластер I включает в себя участки с высокой, кластер II – средней и кластер III – слабой степенью повреждений. На RGB-изображениях эти зоны различаются степенью почернения участков, затронутых пожаром. Сравнение соответствующих показателей поврежденных и неповрежденных участков леса показало снижение в среднем яркости поврежденных пожаром лесных участков в зеленом диапазоне видимого спектра на 10–20%, на 40–50% в ближнем инфракрасном диапазоне. Значения усредненных характеристик рассеяния СКО снижаются на 40–60%. Также отмечены изменения текстуры панхроматических и мультиспектральных изображений поврежденных участков леса. По мере увеличения степени повреждений характерная для лесной растительности зернистость изображений слабеет для кластера III, малозаметна для кластера II и исчезает для кластера I. В частности, однородность изображений поврежденных участков леса возрастает в среднем на 10–45 % по сравнению с аналогичными показателями соседних участков незатронутого пожаром леса. Максимальные изменения происходят в красной зоне видимого спектра. А среднеквадратичное отклонение однородности снижается в среднем на 20–70%, с максимумом в зеленой зоне.

На основе результатов классификации по породному составу по данным SPOT6 и локализации участков, пострадавших от лесных пожаров по данным Ресурс-П составлена сводная цифровая карта последствий лесных пожаров и выполнен статистический анализ потерь. На основе векторизации трех выявленных кластеров сгенерированы маски, которые затем применены для учета сгоревших лесных насаждений. Результаты статистического анализа, дифференцированные по степени повреждения и породному составу показали, что полностью выгоревший, отнесенный к зоне I, лес представлен в основном хвойными породами – 85%. При средней и малой степени повреждения, в зонах II и III, процентное соотношение хвойных пород значительно уменьшается до 53-65%. Суммарное распределение территорий слегка пострадавших от лесных пожаров по породному составу равномерно: темнохвойные – 31%, светлохвойные – 34%, лиственные – 35%.

Заключение. Спектральный и текстурный анализ спутниковых данных оптического диапазона Ресурс-П, Канопус-В, Метеор-М по территории Республики Бурятия в 2015-2017 гг. показал, что:

- в период массовых лесных пожаров спектральные и текстурные свойства оптических снимков значительно искажаются вследствие высокой и неоднородной степени задымления;
- для получения общей картины распространения пожаров по территории РБ наиболее оптимальны мультиспектральные снимки низкого пространственного разрешения (Метеор-М);
- на снимках с высоким разрешением (Ресурс-П и Канопус-В) очаги лесных пожаров на основе спектральных и текстурных характеристик можно дифференцировать на три типа, соответствующих степени повреждения лесной растительности;
- степень повреждений коррелирует с процентным содержанием хвойных пород, присутствие лиственных пород уменьшает вероятность полного выгорания и значительных повреждений: в зонах с почти полным выгоранием хвойных – 85%, в зонах со средней и слабой степенью повреждений хвойных от 53 до 65%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-47-04386-р_сибирь_а).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лесной кодекс Российской Федерации.
- [2] ФЦП «Федеральная космическая программа России на 2016-2025 г.г.».
- [3] Постановление Правительства Республики Бурятия от 17.12.2012 № 762 «О Государственной программе Республики Бурятия «Развитие лесного хозяйства Республики Бурятия на 2013-2017 годы и на период до 2020 года».
- [4] Постановление Правительства Российской Федерации от 17.05.2011 № 376 «О чрезвычайных ситуациях в лесах, возникших вследствие лесных пожаров».
- [5] Лесной план Республики Бурятия. Приложение к Постановлению Правительства Республики Бурятия от 17.12.2013. № 665.
- [6] Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 05.07.2011 № 287 «Об утверждении Классификации природной пожарной опасности лесов и Классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды».
- [7] <http://www.burpogoda.ru> – сайт Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.
- [8] Данные Государственного лесного реестра по состоянию на 01.01.2013 г.