

Оценка гарей Уюкского хребта на основе данных Landsat

Х.Б. Куулар

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

Кызыл, Россия

E-mail: kuular_kb@mail.ru

В данной работе дается оценка повреждения лесов от пожаров растительности на локальном уровне с помощью интерпретации космических снимков среднего разрешения. Представлены результаты анализа снимков Landsat TM на даты съемки 19.08.1988 и 18.08.2011. Проведено выявление пройденных лесными пожарами площадей на основе спектральных индексов. В качестве тестового участка был выбран Уюкский хребет.

Ключевые слова: растительность, данные Landsat, спектральные индексы, выявление гарей.

Введение

Современный этап развития методологии мониторинга лесов с целью выработки стратегий рационального лесопользования и защиты окружающей среды предполагает в качестве обязательной компоненты использование спутниковых данных (Лупян и др., 2013). Для проведения регионального и локального мониторинга лесов снимки Landsat имеют подходящие качества с разрешением 30 м и пространственным охватом 185 м.

Республика Тыва относится к малонарушенным лесным территориям России. Регулярно возникающие лесные пожары наносят значительный ущерб лесному фонду региона и окружающей среде. По данным Государственного комитета лесного хозяйства Республики Тыва, в период 1988–2011 гг. в среднем ежегодно возникали 169 пожаров на площади 30 167 га. В связи с увеличением количества пожаров повышаются требования к точности оценок площадей, пройденных природными пожарами. При оценке степени повреждения растительного покрова и площади гарей используют комбинацию вегетационных индексов. Вегетационные индексы основаны на отношениях значений яркости в спектральных зонах, наиболее информативных для характеристики растительности – красной и ближней инфракрасной. Наиболее используемым индексом при исследованиях является нормализованный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Индекс является одним из самых распространенных и используемых, предоставляет количественные оценки растительного покрова, полученные на основе комбинирования видимого красного и ближнего инфракрасного спектральных каналов Landsat TM.

При оценках последствий пожаров и выявлении гарей используют нормализованный индекс гарей NBR (Normalized Burn Ratio), который показывает степень повреждения растительности в результате пожаров. Большинство исследователей отмечает высокую степень корреляции индексов NBR и NDVI с наземными данными.

Целью данной работы является выявление гарей Уюкского хребта по спутниковым снимкам среднего разрешения Landsat TM.

Тува располагается в центре Азиатского материка, на стыке биоклиматических зон: аридной (центрально-азиатские бессточные впадины) и зоны бореальных лесов Западной и Восточной Сибири. В регионе почти 50% территории относится к лесной зоне и 82% к высотным поясам. В горах крупные массивы тайги сосредоточены в условиях резко континентального климата.

В качестве района исследования выбран Уюкский хребет в центральной части региона. Хребет является сильно расчлененным низкогорьем на высотных отметках 600–2311 м н.у.м. (рис. 1). Рельеф перераспределяет влагу и растительность верхней, средней или нижней частей склона находится в совершенно разных условиях увлажнения. Северный склон создает благоприятные условия для развития древесной растительности. На южных склонах хребта повышенная инсоляция и испарение способствуют широкому распространению степной растительности. Хребет относится к Хемчикско-Куртушибинскому округу горных степей и горно-таежных травяных лиственничных лесов, Алтае-Тувинско-Хангайской котловинно-горной лесорастительной провинции горных степей и лиственничных лесов Центрально-Азиатской котловинно-горной лесорастительной области. Бореальные виды являются главными лесообразующими видами данного хребта: кедр сибирский (*Pinus sibirica*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), с небольшой примесью ели обыкновенной (*Picea obovata*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), пихты (*Abies sibirica*) и лиственных пород (березы (*Betula pendula*, *Betula microphylla*), тополя (*Populus laurifolia*), осины (*Populus tremula*)).

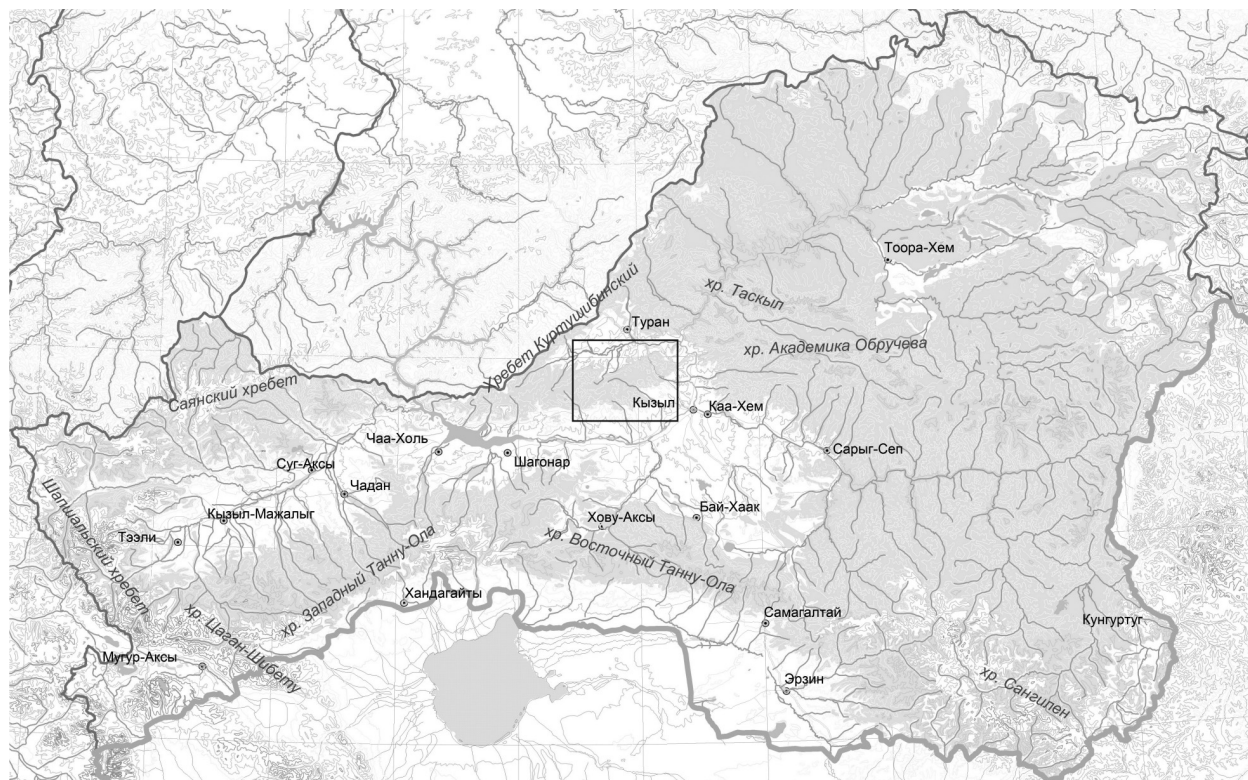


Рис. 1. Карта-схема Республики Тыва: прямоугольником выделен район исследования – Уюкский хребет

Климат района исследования резко континентальный. Многолетняя зимняя температура $-25,9^{\circ}\text{C}$, летняя температура $16,1^{\circ}\text{C}$, годовая температура $-4,1^{\circ}\text{C}$, осадки 330 мм, наиболее значительная их доля выпадает во второй половине лета (до 70%). В марте идет интенсивное испарение снега при резком повышении температуры воздуха и малой относительной влажности. В последние годы средняя максимальная температура весны и осени превышает $+20^{\circ}\text{C}$. Продолжительность засухи около 50 дней, скорость ветра достигает 8 м/с. Длительные периоды дефицита осадков и высокие температуры пожароопасного сезона стали условиями возникновения и распространения пожаров. А повышенная антропогенная нагрузка в пожароопасный период обуславливает рост частоты пожаров и горимости растительности.

Методы и материалы

В качестве основы для исследования использованы разновременные мультиспектральные спутниковые снимки Landsat. Использовались ближний и средний инфракрасный, красный и зеленый каналы. Для анализа выбраны снимки Landsat TM без облаков за 19.09.1988 и 18.08.2011. Разработка методов оценки гарей Уюкского хребта включала следующие этапы: подготовительный этап, маскирование снимков, построение набора вегетационных индексов (NDSI, NDVI, NBR). Обработка спутниковых изображений проведена в программном пакете ERDAS IMAGINE 9.2.

Снимки прошли стандартный уровень геометрической и радиометрической калибровки. При обработке снимков использован снежный индекс (Normalized Difference Snow Index – NDSI) для исключения помех изображения. Данный этап позволяет для снимка сформировать маски пикселей, соответствующих снежному покрову, облачности, дымов и повреждениям, вызванным аппаратными дефектами. Для этих пикселей характерны высокие значения отражения в видимом канале, а также высокие значения нормализованного разностного индекса снега, описываемого выражением $\text{NDSI} = (\rho_{b1} - \rho_{b4}) / (\rho_{b1} + \rho_{b4})$.

Для изучения границ и степени повреждения пожарами были использованы вегетационные индексы NDVI, NBR и лесоустойчивые материалы изучаемого хребта. Для формирования опорной выборки классов неповрежденных лесов и гарей использовались карты-схемы лесов Тувы (1992 г.).

Индекс NDVI позволяет выявить проблемные зоны угнетенной растительности. Динамика спектрально-отражательных характеристик растительности по нормализованному вегетационному индексу изображений описывается выражением $\text{NDVI} = (\rho_{b4} - \rho_{b3}) / (\rho_{b4} + \rho_{b3})$, где ρ_{b3} – спектральные значения каналов спутника в красной области спектра (0,63–0,69 мкм), ρ_{b4} – в инфракрасной области (0,75–0,90 мкм) (Rouse et al., 1974).

Выявление различий между двумя разновременными изображениями позволяет проследить за изменениями спектральных характеристик исследуемого участка за период между их съемками. Для выделения гарей использован индекс гарей (Normalized Burn Ratio/NBR), посредством которого сопоставляются отражения от гарей и неповрежденной растительности. Ближний инфракрасный канал чувствителен к уменьшению содержания

хлорофилла растительности, а средний инфракрасный канал восприимчив к влажности растений и имеет тенденцию к увеличению на открытых участках и гарях.

Индекс представляет собой разность спектральных отражений в ближнем и коротковолновом инфракрасных каналах, нормализованную на их сумму: $NBR = (\rho_{b4} - \rho_{b7}) / (\rho_{b4} + \rho_{b7})$, где ρ_{b4} и ρ_{b7} – спектральные значения каналов спутника в диапазонах (0,75–0,90 мкм) и (2,09–2,35 мкм), соответственно (Key, Benson, 1999).

Для количественной оценки степени повреждения хребта пожарами применялся разностный индекс гарей dNBR, который вычислялся на основе разности индексов гарей NBR, полученных по снимкам Landsat 19.08.1988 и 18.08.2011. Для построения тематических карт на основе индекса гарей NBR были использованы мозаики 1988 и 2011 гг. мультиспектральных спутниковых снимков Landsat для хребта, на основе которых получена базовая тематическая карта разностного индекса гарей dNBR. На *рис. 2* представлены результаты обработки фрагментов спутниковых данных за 19.08.1988, 18.08.2011 и разностное изображение, описываемое выражением $dNBR = NBR_{18.08.2011} - NBR_{19.08.1988}$. Вычисленная по NBR разновременных снимков площадь гарей хребта составила 21 362 га.

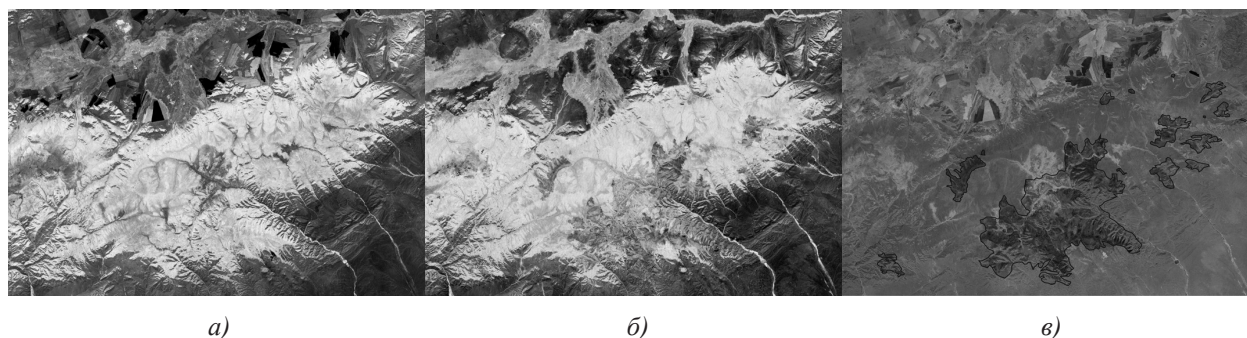


Рис. 2. NBR Уюкского хребта на 19.09.1988 (а) и 18.08.2011 (б), разностное изображение (dNBR) – (в)

На следующем этапе проведена неуправляемая классификация методом ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), что позволило определить точные контуры и степень повреждения пожарами. На *рис. 2в* показана карта гарей Уюкского хребта, полученная в результате классификации. На снимке хорошо видны крупные очаги гарей (черные контуры).

Метод выявления пройденных огнем площадей на основе сравнительного анализа данных двух изображений Landsat позволил выявить гари исследуемого хребта. На снимке 18.08.2011 отмечается уменьшение лесистости хребта по сравнению со снимком 19.08.1988. Анализ гарей выявил неблагоприятную тенденцию увеличения площади гарей. Темным тонам на карте соответствуют участки после пожаров, выявленных на *рис. 2а* и *б*, и их локализация совпадает с наземными данными Государственного комитета лесного хозяйства Республики Тыва.

Результаты и обсуждение

Снимки Landsat являются особенно подходящими для мониторинга происходящих изменений регионального и локального уровня. Анализ снимков, показывающих динамику нарастания площади погибших лесов, подтвердил, что значение нормализованного относительного индекса растительности (NDVI) близко к нулю или отрицательно.

В результате анализа гарей лесов на территории хребта выявлено, что увеличивается неблагоприятная тенденция, и четко видно уменьшение лесистости хребта на снимке 18.08.2011. Для фильтрации гарей использовались спектральные индексы, которые позволили отделить поврежденные участки леса от неповрежденных. Четкое выявление гарей в период 1988–2011 гг. получено с использованием «нормализованного разностного индекса гарей». Представлены результаты обработки фрагментов спутниковых данных NBR за 19.08.1988 и 18.08.2011 и разностное изображение dNBR. Темным тонам соответствуют участки после пожаров (*рис. 2*), и их локализация совпадает с наземными данными Государственного комитета лесного хозяйства Республики Тыва.

Результаты анализа изображений Landsat позволили оценить информативность нормализованного разностного индекса гарей для распознавания границ гарей, исследуемого хребта, что трудно сделать из-за сложности рельефа. Обнаружены все участки, пройденные пожарами за 23 года, общей площадью 21 362 га (*рис. 2в*).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в последние десятилетия на территории исследуемого хребта площадь гарей увеличилась. Главной причиной является удлинение засушливого пожароопасного сезона в результате потепления климата. Продолжительность пожароопасного периода достигает 210 дней. Продолжительная засуха и высокая температура пожароопасного сезона являются благоприятными условиями возникновения и распространения лесных пожаров, число которых растет с каждым годом.

Заключение

Леса Уюкского хребта формируются в условиях резко засушливого климата и сложного горного рельефа. Лесные пожары, увеличивающиеся с каждым годом из-за повышения весенней и осенней температуры с длительной засухой, становятся основным источником повреждения лесов. Исследование с помощью космических снимков повышает эффективность обнаружения очагов пожаров, достоверность оценки пройденных огнем площадей и последствий пожаров на труднодоступных территориях. Представленный метод оценки гарей является наиболее точным в применении к Уюкскому хребту.

Таким образом, результаты анализа изображений Landsat TM позволили оценить информативность использованных индексов для распознавания гарей исследуемого хребта, сложность рельефа которого существенно затрудняет эту задачу. Метод оценки пройденных огнем участков на территории хребта с использованием изображений Landsat основан на анализе изменения состояния лесов, вызванного пожарами, за период 1988–2011 гг.

Анализ снимков показывает динамику нарастания площади погибших лесов. Использование «нормализованного отношения выгорания» NBR и «нормализованного разностного индекса гарей» dNBR для оценки гарей дает наиболее точные результаты выделения границ гарей. Сравнительный анализ изображений снимков позволяет отслеживать особенности гарей хребта, что может быть использовано при контроле динамики лесного фонда. Оценка изменения площадей горных бореальных лесов с помощью космических методов позволяют создать прогнозные модели на региональном уровне. Исследование, проводимое на локальном уровне, послужит дополнением к данным Государственного комитета лесного хозяйства Республики Тыва. Полученные результаты полезны для создания ГИС для решения практических задач в лесном фонде региона, для выработки регионального варианта раннего предупреждения природных пожаров, наблюдения за пожарами и оценки их воздействия на основе космических снимков.

Литература

1. Лупян Е.А., Еришов Д.В., Барталев С.А., Исаев А.С. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров и их последствий: результаты последнего десятилетия и перспективы // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве. Доклады V Всерос. конф., посвященной памяти выдающихся ученых-лесоводов В.И Сухих и Г.Н. Коровина. М.: ЦЭПЛ РАН, 2013. С.43–46.
2. Key C.H., Benson N.C. Measuring and remote sensing of burn severity: the CBI and NBR. Poster abstract. In L. F. Neuenschwander and K. C. Ryan (Eds.) // Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop, Vol. II, Boise, ID, 15–17 June 1999. University of Idaho and International Association of Wildland Fire. 1999. P. 284.
3. Rouse JR.J.W., Haas R.H., Shell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS // In Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, vol. 1, 10–14 December 1973, Washington, DC. 1974. P. 309–317.

Estimation of burned areas of the Ujuk Mountain Range using Landsat data analysis

Kh.B. Kuular

Tuvinian Institute for the Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia
E-mail: kuular_kb@mail.ru

In this paper we use a data integration approach to locate areas of the burnt areas in boreal forests of test site, Tyva. As the test site was chosen by the Ujuk Mountain Range. A detection of the burnt areas was by spectral indices. Using this approach we found burnt areas during the 23 year period between 1988 and 2011.

Keywords: vegetation, Landsat data, vegetation indices, identification of the burnt areas.