

УДК 004.021:528.88

Estimation of Anthropogenic Forest Disturbance Using MODIS NDVI Data (on the Example of Zaigraevskoe Forestry, Republic of Buryatia)

Bator V. Sodnomov*, Alexander A. Ayurzhanayev,
Bair Z. Tsydypov and Endon Zh. Garmaev
*Baikal Institute of Nature Management SB RAS
6 Sakhyanovoy Str., Ulan-Ude, 670047, Russia*

Received 18.12.2017, received in revised form 24.07.2018, accepted 02.11.2018

The paper presents the results of assessment the forest cover changes as a result of natural and anthropogenic impact (fires, forest felling) by the example of a model area. A comparative analysis of the results obtained from statistical archival data and remote sensing data was conducted. It has been revealed that according to MODIS images only large forest fires and continuous long-length felling of forests are detected. It has also been discovered that small felling within a pixel is not detected.

Keywords: forest cover, forest felling, forest fires, NDVI, MODIS, time series.

Citation: Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A., Tsydypov B.Z., Garmaev E.Zh. Estimation of anthropogenic forest disturbance using MODIS NDVI data (on the example of zaigraevskoe forestry, Republic of Buryatia), J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2018, 11(8), 902-908. DOI: 10.17516/1999-494X-0112.

Оценка антропогенной нарушенности лесов по данным MODIS NDVI (на примере Заиграевского лесничества, Республика Бурятия)

**Б.В. Содномов, А.А. Аюржанаев,
Б.З. Цыдыпов, Е.Ж. Гармаев**
*Байкальский институт природопользования СО РАН
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6*

В работе представлены результаты оценки изменения лесного покрова после природно-антропогенного воздействия (пожары, рубки) на примере модельного участка, а также

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: sodnomov@binm.ru

сравнительный анализ результатов, полученных по статистическим архивным данным и данным дистанционного зондирования. Выявлено, что по снимкам MODIS детектируются только крупные лесные пожары и сплошные рубки леса большой протяженности. Также обнаружено, что не детектируются разнесенные в пространстве небольшие рубки в пределах пикселя.

Ключевые слова: лесной покров, рубки, пожары, NDVI, MODIS, временные ряды.

Введение

Леса России относятся к важнейшей составляющей биоресурсного потенциала планеты, занимая более 49 % площади земель России и около 20 % общей площади лесного покрова планеты [1]. Актуальной задачей, в связи с крупными лесными пожарами в 2015-2017 гг., является определение степени нарушенности лесов на территории Восточной Сибири, и в частности Республики Бурятия [2]. Для данного региона характерно циклическое наступление засушливых периодов, способствующих возникновению лесных пожаров [3].

Вследствие обширности и зачастую труднодоступности земель лесного фонда важнейшим источником информации, которая позволяет исследовать происходящие на поверхности Земли процессы, являются данные дистанционного зондирования [4]. Для задач непрерывного мониторинга растительного покрова в региональном масштабе оптимальным представляется использование данных MODIS высокого временного разрешения (частота съемки может достигать до четырех раз в сутки). Отмечается, что к числу ключевых преимуществ спектрорадиометра MODIS относится возможность формирования и использования непрерывных временных рядов спутниковых данных [5].

Цель работы – оценка изменения лесного покрова в результате природно-антропогенного воздействия на примере Заиграевского лесничества, а также сравнительный анализ результатов, полученных по статистическим архивным данным и данным ДЗЗ.

Территория исследования

В качестве тестового участка выбрано Заиграевское лесничество, расположенное в центральной части Республики Бурятия на территории муниципального образования «Заиграевский район». Общая площадь лесничества составляет 285372 га. Протяженность территории лесничества с севера на юг – 85 км, с востока на запад – 70 км. Климат района – резко континентальный, с низкой среднегодовой температурой, большой сухостью воздуха, резкими суточными и годовыми колебаниями температуры, небольшим количеством осадков и неравномерным распределением их по месяцам. Данные климатические условия благоприятны для возникновения лесных пожаров – 84,6 % площади лесничества относятся к I классу пожарной опасности [6].

Основная часть лесничества представлена горами средней высоты 800-1200 м. Рельеф во всех направлениях изрезан падами и распадками, чередующимися с грядами возвышенностей – отрогами главных хребтов (рис. 1).

На территории лесничества непрерывный процесс почвообразования протекает синхронно с обратным процессом – разрушением почвенного покрова под воздействием ветра, воды и сейсмотектонических воздействий. Вся территория эрозионно опасна, и всякое нарушение

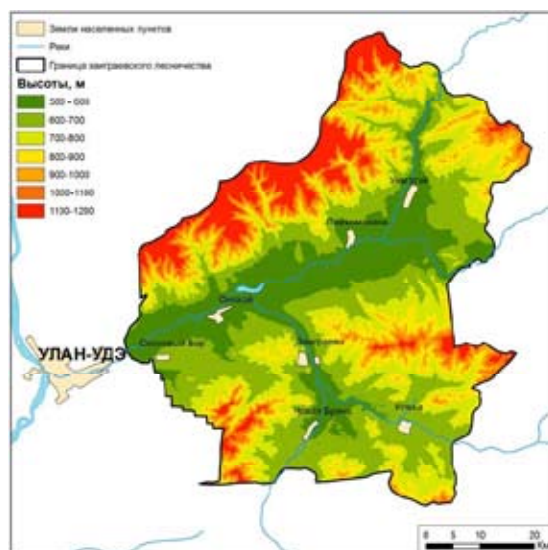


Рис. 1. Рельеф территории исследования

Fig. 1. Relief of the study area

растительного покрова может повлечь за собой активное развитие водной эрозии и привести к уничтожению почвенного покрова [7].

Материалы и методы

Для построения временных рядов NDVI использованы 16-дневные композиты NDVI спутника Terra с 2000 по 2016 гг. (продукт MOD13Q1). Для создания композита применяется метод максимального значения MVC (Maximum Value Compositing). Использование MVC позволяет минимизировать влияние атмосферных эффектов, включая облачность и дымку [9].

Проведена предварительная обработка данных, заключающаяся в восстановлении отсутствующих значений и сглаживании временных рядов NDVI. Обозначенные специальным флагом отсутствующие значения пикселя за 16-дневный период (например, вследствие постоянной облачности) заменены его средним значением за весь период. При отсутствии двух значений подряд (т.е. более чем за 32 дня) пиксель не участвует в дальнейшем анализе.

Для детектирования антропогенного влияния, при котором индекс NDVI падает (рубки и пожары), был построен куб данных NDVI, в котором оси X и Y – пространственные координаты, а Z – временная. Размер тестового полигона составил 486×1273 пикселей. Временной ряд представлен данными за 17 лет (с 2000 по 2016 гг.) по 23 композита в каждом году (391 значение для каждого пикселя). Из-за присутствия шумовой составляющей использование несглаженных временных рядов значительно повышает вероятность ложного детектирования рубок. Для сглаживания временных рядов использован фильтр Савицкого-Голея, который часто применяется для снижения уровня шумов при значительном объеме данных.

Если в фильтрованном временном ряду обнаружено падение индекса NDVI на значение большее, чем порог детектирования, то для данного года выставляется флаг детектирования.

Чтобы получить нелинейный тренд временных рядов, отфильтрованные временные ряды подвергаются процедуре сезонной декомпозиции с использованием метода простого скользящего среднего с шириной окна, равной длительности вегетационного периода. Полученные после сезонной декомпозиции данные используются для построения линейной регрессионной модели и определения углового коэффициента (тренда).

Задействована информация о вырубках леса и пожарах на территории Заиграевского лесничества с 2008 по 2016 гг., предоставленная Республиканским агентством лесного хозяйства (РАЛХ) Министерства природных ресурсов Республики Бурятия. Представленные материалы о рубках и пожарах включают следующие данные: год, лесной квартал, тип и площадь рубки (пожара). Для дальнейшего анализа использована информация только о сплошных рубках площадью более 3,125 га (половина пикселя MODIS NDVI) и верховых или сильных низовых пожарах.

Результаты и обсуждение

На рис. 2 показано количество пикселей, в которых обнаружено падение индекса NDVI на значение более чем 0,2 за год. В 2003 и в 2015 гг. в Республике Бурятия зафиксировано малое количество осадков и, как следствие, большое число крупных лесных пожаров. Нужно отметить, что в случаях возникновения очагов поражения леса возрастает необходимость расширения санитарных рубок, их безотлагательного проведения [8]. Из рис. 2 видно, что наибольшее падение NDVI происходит в следующий после лесных пожаров год (2004 и 2016 гг.).

На рис. 3 представлена картосхема рубок в 2016 г. и лесных пожаров в 2015 г. по информации MODIS и статистическим архивным данным. В результате анализа данных NDVI зафиксированы крупные концентрированные рубки в центральной и юго-западной частях лесничества. Небольшие рубки, расположенные удаленно друг от друга, не были обнаружены. Однако установлена крупная область падения NDVI вблизи с. Илька. Стоит также отметить большое количество небольших по площади областей, в которых наблюдалось падение NDVI в 2016 г. Это может быть вызвано как незаконными рубками, мелкими неотмеченными лесными пожарами, так и деградацией растительности в целом. Из рис. 3 видно, что падение NDVI связано

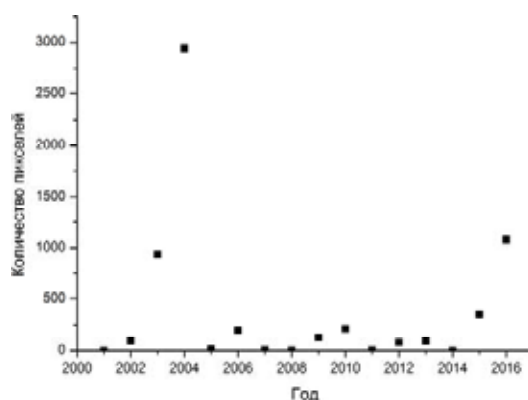


Рис. 2. Количество пикселей, в которых обнаружено падение NDVI

Fig. 2. Number of pixels in which NDVI falls

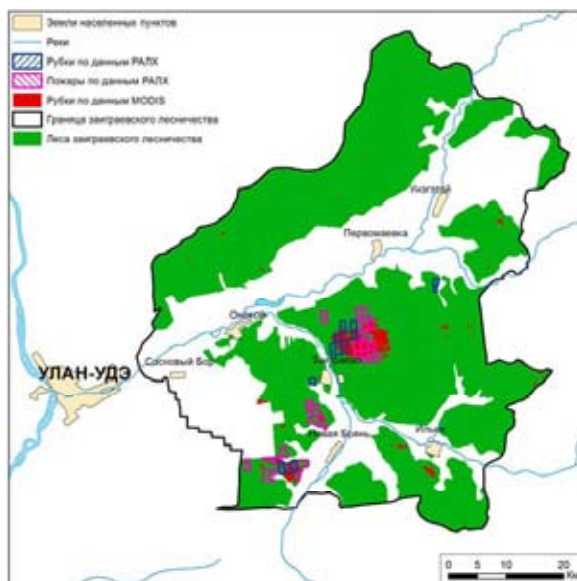


Рис. 3. Картосхема пожаров 2015 г. и вырубки лесов 2016 г. в Заиграевском лесничестве

Fig. 3. The map of fires in 2015 and deforestation in 2016 of Zaigraevsky forestry

не только с рубками в текущем году, но и с пожарами в 2015 г. Это связано как с оперативно проводимыми санитарными рубками леса, так и с деградацией растительности после лесного пожара.

Данный метод позволяет обнаружить резкое падение NDVI, что характерно для сплошных рубок и отчасти лесных пожаров. Однако длительное антропогенное воздействие, при котором не происходит резкого падения NDVI, таким методом обнаружить невозможно.

Для детектирования длительного антропогенного влияния на территорию лесничества были получены коэффициенты линейного тренда каждого пикселя (рис. 4) и проведен их анализ. Наиболее высокие и низкие значения линейных трендов NDVI приурочены к областям с наиболее интенсивными изменениями ландшафтов, которые обусловлены антропогенным влиянием [10]. На рис. 4 отмечен такой участок (Т1) со значительным отрицательным линейным трендом NDVI. Однако NDVI данного участка падал постепенно, не превышая порог детектирования рубок; соответственно, рубки данным методом не могли быть обнаружены. Кроме того, коэффициент линейного тренда позволяет выделить те области, значение NDVI которых восстановилось к концу наблюдаемого периода.

Заключение

Выявлено, что часто архивные материалы региональных центров лесного хозяйства о рубках и пожарах не совпадают с картиной, полученной по данным MODIS. Комбинирование метода обнаружения рубок по пороговому значению и метода обнаружения по коэффициенту линейного тренда позволяет обнаружить сплошные рубки, проведенные в короткий период, и выборочные рубки, проводимые в одной области в течение длительного периода.

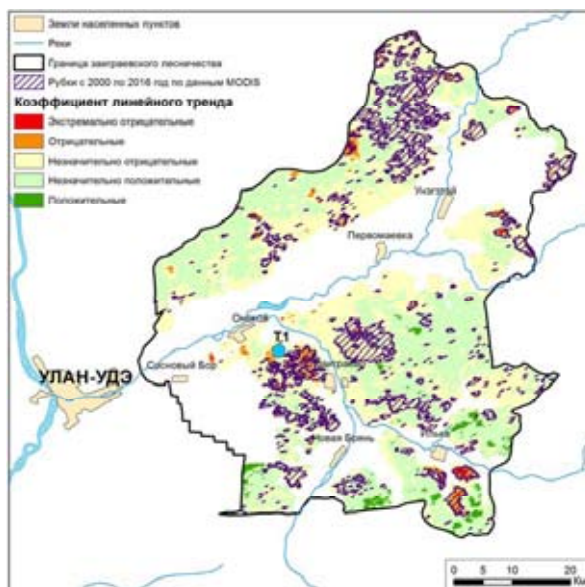


Рис. 4. Распределение коэффициентов линейного тренда NDVI

Fig. 4. Distribution of the coefficients of the NDVI linear trend

Для более точного определения ареалов поражения лесов пожарами и сплошными рубками требуется привлечение снимков более высокого пространственного разрешения (например, линейки спутников Landsat), а также применения средств малой авиации (дельталетов и БПЛА). Данная методика выявления нарушения лесного покрова требует доработки с учетом неантропогенного влияния (климат, природные пожары, поражение лесов насекомыми-вредителями и т.п.).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-05-01059.

Список литературы

[1] 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. [Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyay E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. *Satellite mapping of vegetation cover of Russia*. Moscow, IKI RAN, 2016. 208 p. (in Russian)]

[2] Украинцев А.В., Плюснин А.М. Лесные пожары в Заиграевском районе Республики Бурятия в 2010-2012 гг.: причины возгорания и ущерб. *География и природные ресурсы*, 2015, 2, 60-65 [Ukraintsev A.V., Plyusnin A.M. Forest fires in Zaigrayevsky district of the Republic of Buryatia in 2010-2012: causes of fire and damage. *Geography and natural resources*, 2015, 2, 60-65 (in Russian)]

[3] Андреев С.Г., Гармаев Е.Ж., Аюржанаев А.А., Батоцыренов Э.А., Гуржапов Б.О. Реконструкция водности рек и исторические хроники экстремальных природных явлений Байкаль-

ской Азии. *Научное обозрение*, 2016, 5, 35-38. [Andreev S.G., Garmaev E.Zh., Ayurzhanayev A.A., Batotsyrenov E.A., Gurzhapov B.O. Reconstruction of water content of rivers and historical chronicles of extreme natural phenomena of the Baikal Asia. *Scientific Review*. 2016, 5, 35-38 (in Russian)]

[4] Шовенгердт Р.А. *Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений*. М.: Техносфера, 2010. 582 с. [Shovengerdt R.A. *Remote sensing. Methods and models of image processing*. Moscow, Tekhnosfera, 2010, 582 p. (in Russian)]

[5] Bartalev S., Belward A., Ershov D., Isaev A. A New SPOT4-VEGETATION Derived Land Cover Map of Northern Eurasia. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, Vol. 24, Iss. 9, 1977–1982

[6] Указ Главы Республики Бурятия № 59 от 17.03.2017 «Об утверждении Сводного плана тушения лесных пожаров на территории Республики Бурятия на период пожароопасного сезона 2017 года» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.alh-rb.ru/upload/iblock/b54/ukaz-ob-utverzhdanii-spt-059.pdf> [Decree of the Head of the Republic of Buryatia №59 dated March 17, 2017 «On approval of the Consolidated plan for extinguishing forest fires in the territory of the Republic of Buryatia for the period of the fire-dangerous season of 2017» [Electronic resource]. Access: <http://www.alh-rb.ru/upload/iblock/b54/ukaz-ob-utverzhdanii-spt-059.pdf>]

[7] Приказ Республиканского агентства лесного хозяйства РБ № 662 от 11.11.2014 «Об утверждении Лесохозяйственного регламента Заиграевского лесничества» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://egov-buryatia.ru/uploads/tx_npa/Заиграевский_регл.rar [Order of the Republican Forestry Agency of the Republic of Belarus No. 662 of 11.11.2014 «On approval of the Forestry Regulations of Zaigraevskiy Forestry» [Electronic resource]. Access: http://egov-buryatia.ru/uploads/tx_npa/Заиграевский_регл.rar]

[8] Мелехов И.С. *Лесоводство*. М.: МГУЛ, 2003. 320 с. [Melekhov I.S. *Forestry*. Moscow, MGUL, 2003, 320 p. (In Russian)]

[9] Van Leeuwen W.J.D., Huete A.R., Laing T.W. MODIS vegetation index compositing approach: A prototype with AVHRR data. *Remote Sens. Environ.* 1999, 69, 264–280

[10] Содномов Б.В., Аюржанаев А.А., Цыдыпов Б.З., Гармаев Е.Ж. Алгоритм оценки долговременных вариаций MODIS NDVI. *Журнал СВУ. Техника и технологии*, 2018, 11(1), 61-68 [Sodnomov B.V., Ayurzhanayev A.A., Tsydyrov B.Z., Garmaev E.Zh. Algorithm of assessment of the MODIS NDVI long-term variations. *J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol.*, 2018, 11(1), 61-68 (in Russian)]