

УДК 528.7:630*439

**О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов, А. В. Губаев,
С. А. Лежнин, Ю. А. Полевщикова**

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ГАРЕЙ В МАРИЙСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Проанализирована приемлемость индексов NDVI и NBR для выявления площадей гарей 1972 и 2010 гг. на территории Марийского лесного Заволжья методами дистанционного зондирования. Для исследований использованы архивные снимки Landsat MSS, TM и ETM+, лесоустроительные, полевые и спутниковые данные более высокого разрешения. Общая площадь лесных гарей на исследуемой территории составила 212,3 тыс. га в 1972 г. и 100,2 тыс. га в 2010 г. Точность полученных данных подтверждается современными критериями геоинформационной статистики и независимого международного источника пожарной информационной системы для управления природными ресурсами.

Ключевые слова: *лесные пожары, дистанционное зондирование и мониторинг лесных экосистем, индексы растительности, спутниковые снимки, ГИС.*

Введение. Лесные пожары 1972 и 2010 гг., затронувшие значительную часть Европейской части России, привели к уничтожению больших запасов древесины, домохозяйств, гибели сельского населения, нанесению урона популяциям редких видов растений и животных. Экологические, экономические и социальные последствия этих природных катастроф еще долгое время будут обсуждаться учеными, общественными организациями, журналистами и политиками. Важную роль в этом процессе играют точные данные о пройденных огнем площадях лесных насаждений, которые в последние годы оперативно отслеживаются с использованием дистанционных методов зондирования земли [1, 2]. Кроме того, тематическое картирование гарей по спутниковым снимкам является одним из активно развивающихся направлений в отечественных и зарубежных научных исследованиях по оценке биомассы лесов и эмиссии углерода [3, 4].

Одним из методов дистанционной оценки площадей гарей и степени повреждения растительного покрова после пожара является использование индексов, полученных с одновременных снимков спутника Landsat. Часто используемым в таких оценках, как с применением единовременных снимков, так и одновременных изображений (до и после пожара), является нормализованный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)[5, 6]. Резкие колебания в вегетационном цикле растительности, вызванные засухой и пожарами, часто приводят к аномальным траекториям их роста, что подтверждается мониторингом серии одновременных данных NDVI, полученных на снимках радиометра MODIS [7]. Значительно реже при оценках гарей применяются индексы гарей BAI (Burnt Area Index) и почвенный вегетационный SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) [8, 9]. В последние десятилетия при исследовании

последствий пожаров на природные экосистемы и выявление границ гарей широкое применение находит нормализованный индекс гарей (NBR – Normalized Burn Ratio) [10, 11]. Этот индекс используется в практической деятельности лесной службы США для оценки степени повреждения растительных экосистем от лесных пожаров на территории штатов тихоокеанского побережья [12]. Отмечается необходимость проведения долгосрочного мониторинга и разработки технологии по оценке реакции экосистемы на природные нарушения (засухи и пожары) [13].

Степень повреждения лесных экосистем огнем также оценивается исследователями по-разному. Большинство ученых при оценках степени повреждения придерживаются принципа классификации, при котором учитываются погибшие деревья основного полога древостоя, в то время как другие показатели учитываются во вторую очередь. Например, американские ученые [14] классифицируют степень повреждения (низкая, средняя и высокая) по мере снижения суммы площадей сечений (полноты) древостоя. В России наиболее используемой является методика оценки последствий пожаров, предложенная проф. И. С. Мелеховым (1948) [15] и адаптированная министерством РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [16]. Степень повреждения по этой методике оценивается по числу упавших деревьев и снижению запаса лесного насаждения после пожара [17].

Целью работы является оценка площадей гарей в Марийском лесном Заволжье, образовавшихся после крупномасштабных лесных пожаров 1972 и 2010 гг., с использованием нормализованного разностного индекса растительности NDVI и разностного индекса горимости NBR. Для решения этой цели были решены следующие **задачи**: 1) изучены разновременные спутниковые снимки Landsat MSS, TM и ETM+; 2) проведена неуправляемая классификация на бесшовной мозаике, полученной по нескольким спутниковым снимкам; 3) на основе индексов NDVI и Δ NBR выявлены площади гарей 1972 и 2010 гг.; 4) проведена оценка точности полученных тематических карт.

Техника эксперимента и методика исследований. Объектами исследования явились лесные гари 1972 и 2010 гг. на территории Марийского Заволжья. С целью оценки границ и степени повреждения древостоев пожарами 2010 г. полевые работы были проведены в бесснежный период 2010 и 2011 гг. на территории Килемарского, Юринского, Кокшайского, Куярского, Моркинского и Волжского лесничеств Республики Марий Эл. Наземные работы по географической привязке гарей на местности проводились при помощи GPS-приемника. Для оценки степени повреждения древостоя пожаром была использована вышеприведенная методика [16].

Для тематического картирования изучаемой местности использовались разновременные мультиспектральные спутниковые снимки Landsat MSS, TM и EMS+ с пространственным разрешением 30 и 60 м. Снимки прошли стандартный уровень 1G геометрической и радиометрической калибровки. Для формирования однородных изображений на территорию Марийского лесного Заволжья для всех снимков Landsat была проведена атмосферная коррекция в модуле FLAASH и линейное спектральное выравнивание изображений в программном комплексе ENVI-4.8. Всего в работе для оценки гарей 2010 г. было использовано 10 мультиспектральных сцен Landsat, полученных на исследуемую территорию за период с 2001 по 2011 гг. (zone 38N, zone 39N_WGS84). На основе этих снимков были получены две бесшовные мозаики на территорию Марийского лесного Заволжья за 2001 и 2011 гг., которые были использованы для выявления площадей лесных пожаров 2010 г.

Для изучения гарей 1972 г. были подобраны два снимка Landsat MSS 1973 и 1975 гг. с пространственным разрешением 60 м, по которым также была создана их мозаика на

изучаемую территорию. В связи с отсутствием спутниковых снимков, сделанных до пожаров 1972 г., в работе использовался нормализованный индекс растительности NDVI и архивные лесоустроительные материалы на изучаемую территорию. Пороговые значения индекса NDVI на гарях, характеризующих степень нарушенности древостоев лесными пожарами, были приняты, как у других авторов [18, 19].

Для оценки территорий, пройденных лесными пожарами, в работе использовался нормализованный индекс гарей (NBR – Normalized Burn Ratio), который представляет собой разность спектральных отражений в ближнем и коротковолновом инфракрасных каналах, нормализованную на их сумму:

$$NBR = \frac{TM4 - TM7}{TM4 + TM7},$$

где TM4 и TM7 – спектральные значения двух каналов спутника Landsat в диапазоне (0,75–0,90 мкм) и (2,09–2,35 мкм) соответственно. Биофизической предпосылкой для применения этого индекса при оценках гарей является сопоставление отражений от неповрежденной и пройденной огнем растительности по двум одновременным изображениям. Ближний инфракрасный 4 спектральный канал спутникового радиометрического сенсора чувствителен к структуре клеток растительности. Коротковолновый 7 канал восприимчив к содержанию клеток и влажности растений, а также имеет тенденцию к увеличению на открытых участках и гарях [20, 21]. После пожара в 4-м спектральном канале (инфракрасной зоне спектра) наблюдается снижение отражения светового потока, в то время как 7-й канал (коротковолновая зона) показывает более высокие значения и вариацию по сравнению с другими каналами. Разница между этими двумя спектральными каналами показывает хорошие статистические оценки лесных пожаров площадью более чем 200 га [22, 23].

Для определения количественной оценки степени повреждения территории лесными пожарами 2010 г. был использован разностный индекс гарей ΔNBR , который вычислялся на основании разности индексов NBR, полученных на снимках Landsat ETM+ 2001 и 2011 гг. (до и после пожаров 2010 г.). Подобно NDVI нормализованный индекс гари NBR имеет диапазон значений от -1 до +1. В ненарушенных лесных насаждениях этот показатель имеет положительные значения, на открытых и поврежденных пожарами участках – отрицательные. Значение NBR имеет тенденцию к снижению при увеличении степени поврежденности растительного покрова [24].

Для полученных тематических карт на основе индекса гарей NBR были использованы мозаики 2001 и 2011 гг. мультиспектральных спутниковых снимков Landsat для территории Марий Эл, на основе которых получена базовая тематическая карта разностного индекса гарей ΔNBR . Работа по оценке гарей проводилась с использованием комплексных программных пакетов Arc GIS и ENVI-4.8.

Для получения тематических карт гарей изучаемой территории для мозаики ΔNBR в пакете ENVI-4.8 была проведена неуправляемая классификация методом ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), что позволило определить их точные контуры (площади) и степень повреждения древостоя по вышеприведенной методике. В результате классификации была получена тематическая карта Марийского лесного Заповялья на 10 классов наземного покрова (рис. 1).

Из полученного изображения тематической карты наземного покрова был выделен тематический класс «Гари», при помощи которого в последующем был получен растровый слой «Гари 2010 г.». Для этого слоя также была применена неуправляемая классификация ISODATA, которая позволила уточнить площади гарей на исследуемой территории. На основе привлеченных данных полевых исследований, существующих карт местности и лесоустроительных материалов методом экспертной оценки был

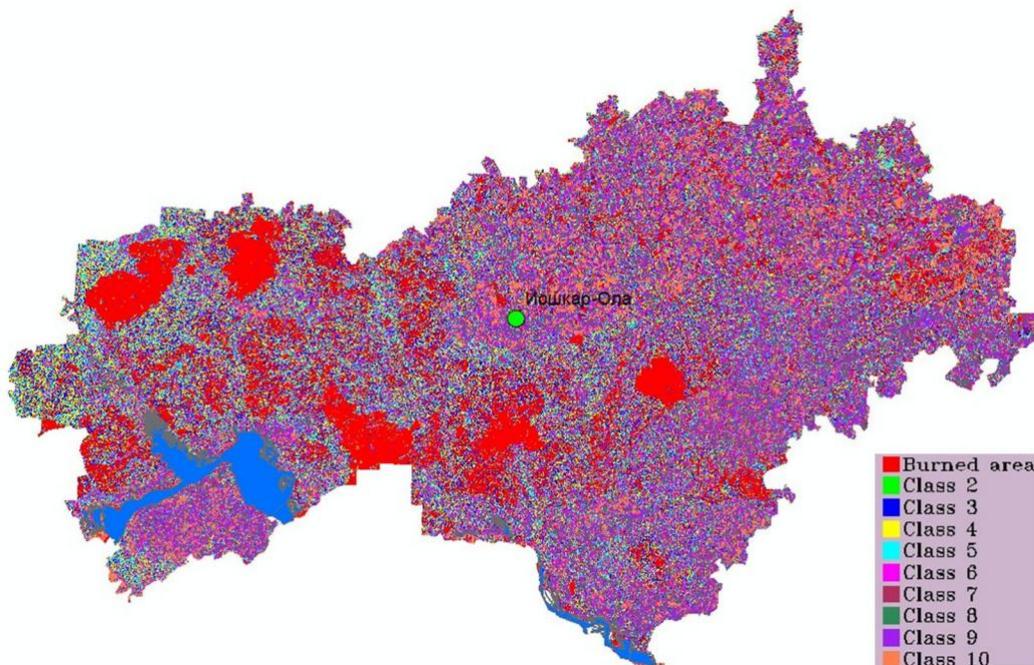


Рис.1. Тематическая карта Марий Эл для 10 классов покрова, полученная методами классификации ISODATA. На карте видны крупные очаги гарей 2010 г. (красным цветом)

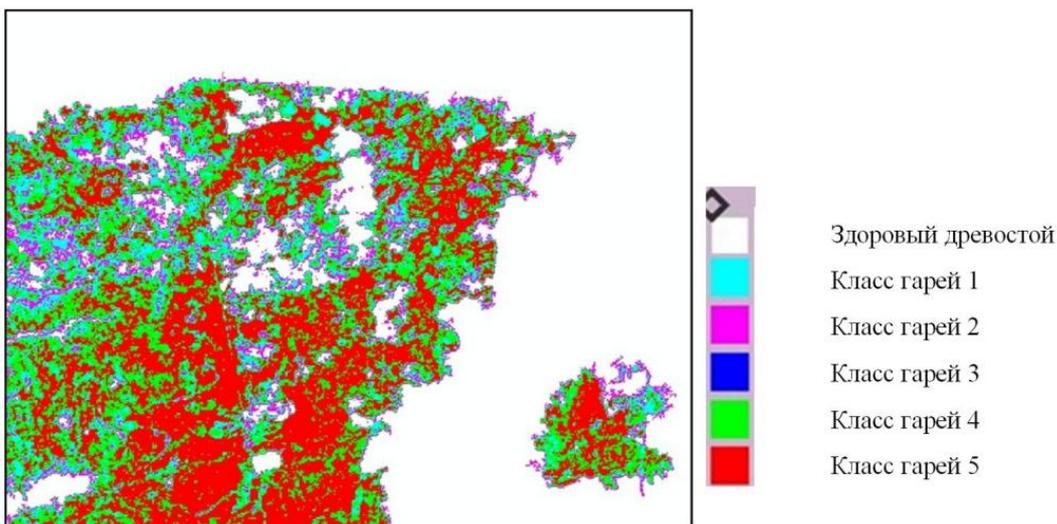


Рис.2. Фрагмент тематического слоя «Гари 2010» на территории Килемарского лесничества, имеющего пять классов наземного покрова по степени поражения огнем (белый цвет – ненарушенный лесной покров, от голубого до красного цвета – по степени повреждения)

сформирован итоговый растровый слой лесных гарей на всю территорию Марий Эл, состоящий из пяти классов растительного покрова [16] разной степени нарушения лесными пожарами 2010 г. (рис. 2).

Сложность в выделении участков гарей разной степени повреждения на снимках Landsat в связи со смешением пикселей смежных классов снижает точность проведенных работ и повышает неопределённость исследований. В связи с этим на полученном тематическом слое пять классов гарей по степени повреждения огнем были объединены в два основных:

- Класс 1 – Древостой I, II и III степени повреждения.
- Класс 2 – Древостой IV и V степени повреждения.

К первому классу можно отнести древостои разной степени повреждения – от слабой до сильной, в которых наблюдается сохранение отдельных деревьев верхнего полога и отмирание подпологовой растительности. Ко второму классу относятся погибшие древостои, утратившие жизнедеятельность и представляющие собой валежные горельники.

Растровый слой гарей 1 и 2 классов был конвертирован в векторный (shape) формат в программном комплексе ENVI-4.8. Дальнейшая работа по анализу площади гарей была проведена в пакете ArcGis-10.

Валидация вновь полученных тематических карт была выполнена с использованием официальных данных о горимости лесов за пожароопасный период 2010 г., данных полевых исследований гарей коллектива ЦУДМЛ и сравнительный анализ снимков Landsat со снимками высокого разрешения Rapid Eye. Кроме того, был проведен анализ соответствия данных, полученных по тематическим картам, данным пожарной информационной системы для управления природными ресурсами (The Fire Information for Resource Management System, FIRMS), разработанной в Университете штата Мэриленд и поддерживаемой Национальным агентством США по авионавигации и исследованию космического пространства (NASA) [25]. Система позволяет получать оперативную информацию о местоположении пожаров (hotspots) как центров пикселей 1x1 км на основе автоматического регистрирования высокого отражения в тепловых каналах спектра солнечного излучения снимков с камеры MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленной на спутниках Terra и Aqua. Для валидации наших данных использован слой участков пожаров (FIRMS) на территорию Республики Марий Эл, полученных с начала мая по конец сентября 2010 г.

Пошаговая оценка точности классификации проводилась на основе расчета коэффициентов матрицы различий (Confusion Matrix) и коэффициента Каппа (Kappa Index) [26], которые наиболее используются в современной научной литературе.

Результаты исследований. В результате классификации масок лесных гарей 2010 г. с их последующей генерализацией и объединением близких по спектральным значениям классов в программном комплексе ArcGis 10 была получена тематическая карта распределения лесных гарей 1972 и 2010 гг. и определены их площади для исследуемой территории (рис. 3, 4).

В целом по результатам исследований общая площадь гарей 1972 г. составила 212,3 тыс. га, что на 12 % выше официальных данных (180 тыс. га)[27]. В 2010 г. площадь гарей по данным, полученным на основе спутниковых снимков Landsat, составила 100,2 тыс. га, что на 28 % выше данных (72,8 тыс. га) Министерства лесного хозяйства РМЭ [28]. Площади, повторно пройденные огнем в 2010 г., составили 34228,1 га (рис. 4). При этом по степени повреждения лесных насаждений пожарами эти площади распределялись следующим образом: I класс – 57,4 тыс. га и II класс – 42,8 тыс. га. Причина отклонений данных наших исследований от данных официальной статистики может заключаться в том, что в работе учитывались площади гарей всех категорий земель, а не только лесного фонда РМЭ.

Точность проведенной оценки площадей лесных гарей 1972 и 2010 гг. и полученных тематических карт подтверждается высоким значением коэффициента Каппа (0,9), что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации нашим полевым (эталонным) данным. Кроме того, высокое соответствие полученных площадей гарей подтверждает независимый источник – пожарная информационная система FIRMS (США). Как видно из рис. 5, распределение точек распространения огня (hotspots)

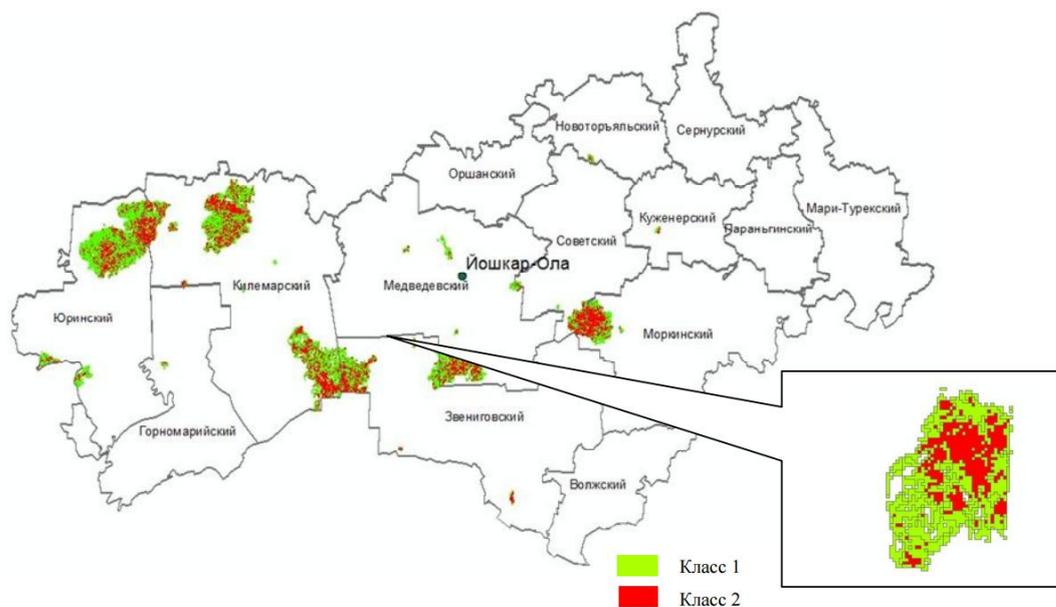


Рис. 3. Тематический слой «Гари 2010» распределения основных площадей лесных гарей в Республике Марий Эл по двум классам в зависимости от степени повреждения

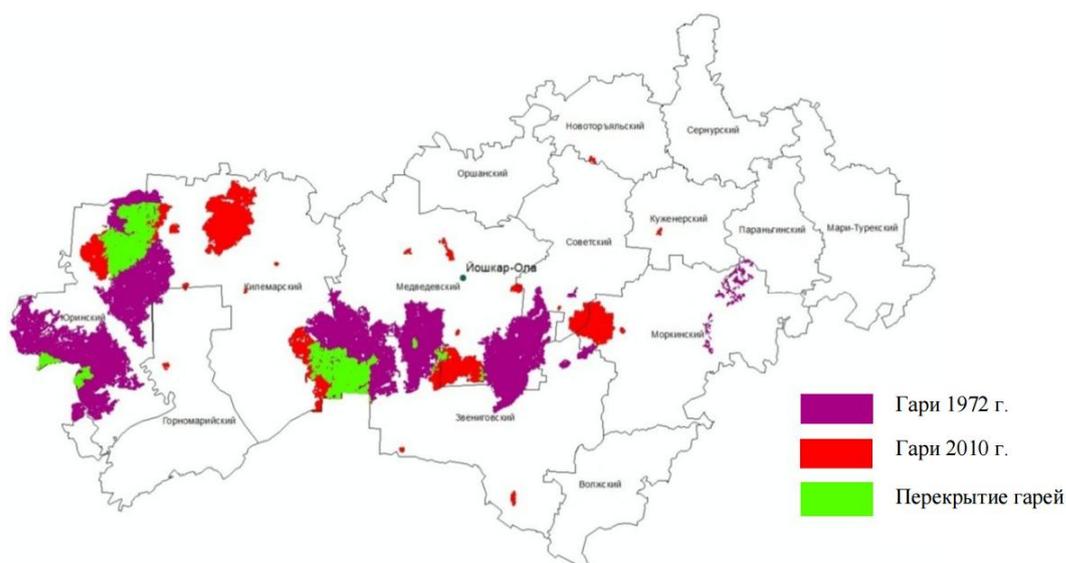


Рис. 4. Совмещенная тематическая карта площадей лесных гарей 1972 и 2010 годов на территорию Республики Марий Эл

практически полностью совпадает с контурами гарей 2010 г., полученными в данной работе. Белый фон на рисунке представляет собой неповрежденные огнем участки лесного фонда.

Анализ распределения гарей по исследуемой территории Марийского лесного Заповедья показал, что основная часть площади лесных пожаров 1972 и 2010 гг. пришлось на хвойные насаждения республики. Аналогичная ситуация повторилась в пожароопасный сезон 2010 г. Как видно из рис.6, повторно выгорели сосновые насаждения в центральной и северо-западной части Марий Эл. В 2010 г. в значительной степени также пострадали сосновые лесные культуры, созданные в республике после пожаров 1972 г.

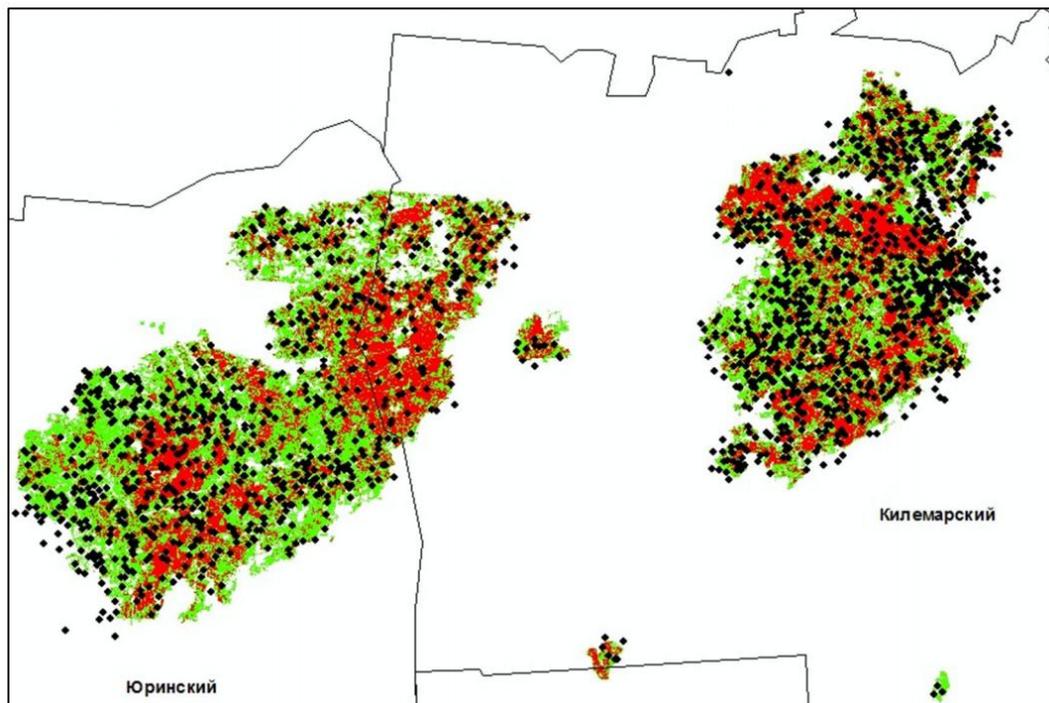


Рис. 5. Распределение hotspots (точки распространения огня – темным цветом) на территории лесных гарей Килемарского и Юринского лесничеств Республики Марий Эл

Выводы

1. Исследования показали важность и достоверность данных спектро радиометра среднего разрешения Landsat и современных программных геоинформационных комплексов ENVI и Arc GIS для проведения дистанционного мониторинга нарушенности земель лесного фонда пожарами. Общая площадь гарей на территории Марийского лесного Заволжья по данным исследований составила в 1972 г. 212,3 тыс. га и 100,2 тыс. га в 2010.

2. Тематическое картирование, генерализация и векторизация полигонов гарей 1972 и 2010 гг. на спутниковых снимках проводилась автоматически в ГИС среде на основе нормализованного вегетационного индекса NDVI и разностного индекса гарей ΔNBR , что позволило исключить субъективность при оценке результатов. Оценка точности полученных данных площадей гарей на основе полевых исследований и независимых источников свидетельствует о высокой их достоверности и верности выбора применённых индексов.

3. Совмещение тематических карт гарей 1972 и 2010 гг. показало, что в определенной степени лесные пожары 2010 г. были закономерно отмечены на тех же площадях и районах Марийского лесного Заволжья, которые пострадали от пожаров в 1972 г. Площади, повторно пройденные огнем в 2010 г., составили 34228,1 га.

4. Детальный мониторинг состояния гарей может быть осуществлен с использованием спутниковых снимков более высокого разрешения.

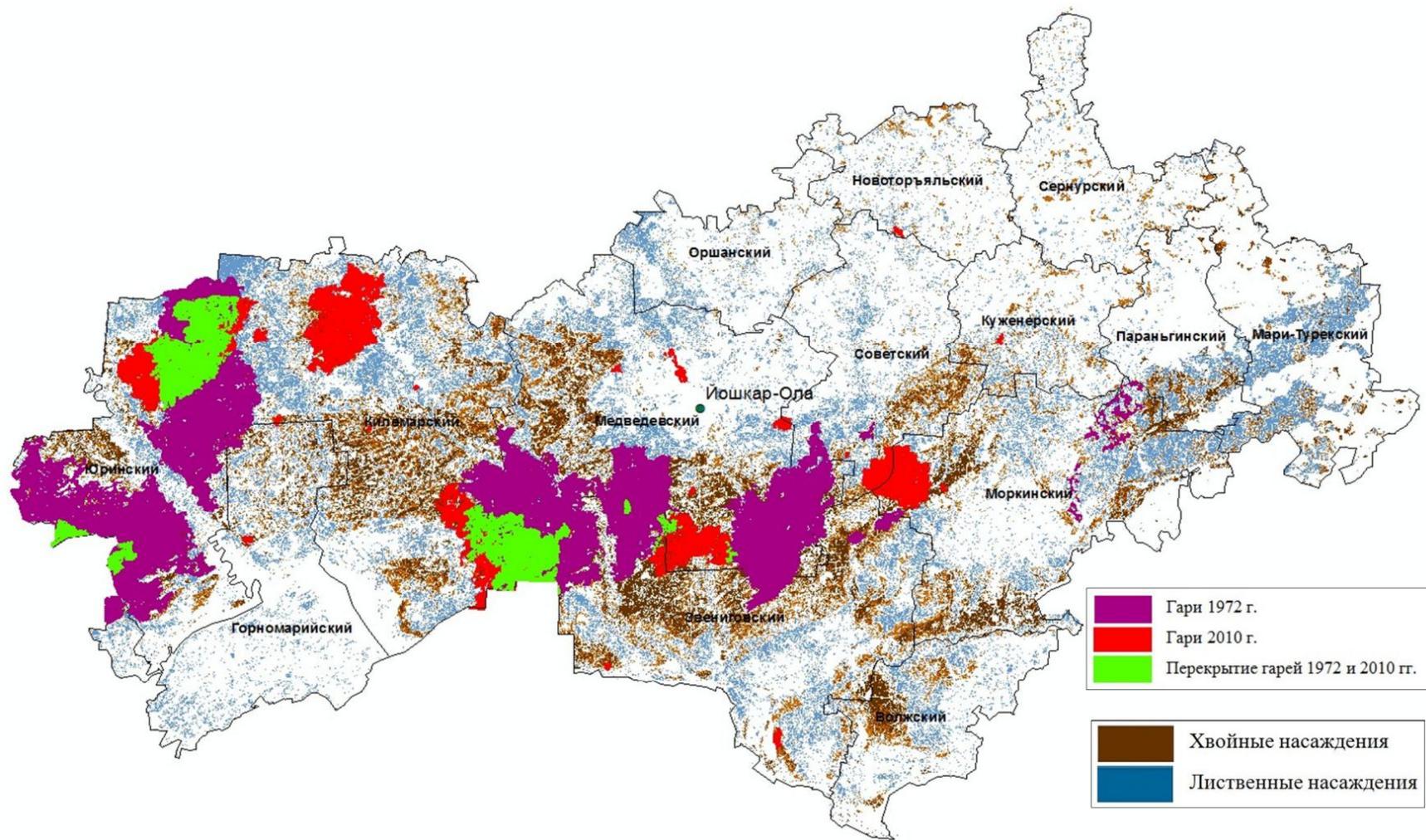


Рис. 6. Распределение гарей 1972 и 2010 гг. на тематической карте по двум основным классам растительного покрова Республики Марий Эл

Список литературы

1. Курбанов, Э.А. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3 (13). – С. 17-24.
2. Барталев, С.А. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+/ С.А. Барталев, В.А. Егоров, В.Ю. Ефремов и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – № 2. – Т.9. – С. 343-351.
3. Krankina, O.N. Carbon stores, sinks, and sources in forests of northwestern Russia: can we reconcile forest inventories with remote sensing results? / O.N. Krankina, M.E. Harmon, W.B. Cohen et al. // Climatic change. – 2004. – № 67. – Pp. 257–272.
4. Курбанов, Э.А. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев и др. // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.
5. Escuin, S. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images/ S. Escuin, R. Navarro, P. Fernandez // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – № 29.– Pp. 1053-1073.
6. Jose, R.R.L. Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments / R.R.L. Jose, W.J.D. van Leeuwen, G.M. Casady // Remote sensing. – 2012. – № 4.– Pp. 598-621.
7. van Leeuwen, W.J.D. Monitoring the effects of forest restoration treatments on post-fire vegetation recovery with MODIS multitemporal data/ W.J.D. van Leeuwen // Sensors. – 2008. – № 8.– Pp. 2017–2042.
8. Chuvieco, E. Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination / E. Chuvieco, M.P. Martin, A. Palacios // International Journal of Remote Sensing. – 2002. – № 23.– Pp. 5103–5110.
9. Wittenberg, L. Spatial and temporal patterns of vegetation recovery following sequences of forest fires in a Mediterranean landscape Mt Carmel Israel / L. Wittenberg, D. Malkinson, O. Beeri, A. Halutzky, N. Tesler // Catena. – 2007. – № 71.– Pp. 76–83.
10. Lopez, G.M.J. Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data / G.M.J. Lopez, V. Caseles // Geocarto International. – 1991. – № 6. – Pp. 31-37.
11. Key, C.H. Remote sensing sensitivity to fire severity and fire recovery. In J. de la Riva and E. Chuvieco, eds. 2005. Proceedings of the 5th International Workshop on remote sensing and GIS applications to forest fire management: fire effects assessment. Universidad de Zaragoza, Spain, 16-18 June 2005. – Pp. 29-39.
12. Howard, S.M. An evaluation of Gap-Filled Landsat SLC-Off imagery for wildland fire burn severity mapping / S.M. Howard, M.L. Lacasse // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 2004. – № 70. – Pp. 877–879.
13. Лупян, Е.А. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») / Е.А. Лупян, И.Ю. Савин, С.А. Барталев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8. – № 1. – С. 343-351.
14. Larson, A.J. Patterns of conifer tree regeneration following an autumn wildfire event in the western Oregon Cascade Range, USA / A.J. Larson, J.F. Franklin // Forest Ecology and Management. –2005. –218. –Pp. 25-36.
15. Мелехов, И.С. Влияние пожаров на лес / И.С. Мелехов. – М.-Л.: Гослестехиздат, 1948. – 126 с.
16. Методика оценки последствий лесных пожаров. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (книга 2). – М.: МЧС России, 1994. –11 с.
17. Демаков, Ю.П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах, повреждённых пожарами/ Ю.П. Демаков, К.К. Калинин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 136 с.
18. Martin, M.P. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images / M.P. Martin, E. Chuvieco // Advanced in Remote Sensing. – 1995. – № 3(4). – Pp. 7–13.
19. Leon, J.R.R. Using MODIS-NDVI for the modeling of post-wildfire vegetation response as a function of environmental conditions and pre-fire restoration treatments / J.R.R. Leon, J.D.V.L Willem, G.M. Casady / Remote Sensing. – 2012. – № 4. – Pp. 598-621.
20. Key, C.H. Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity / C.H. Key // Fire Ecology. – 2006. – № 2. – Pp. 34-59.
21. Cansler, C.A. How Robust Are Burn Severity Indices When Applied in a New Region? Evaluation of Alternate Field-Based and Remote-Sensing Methods /C.A. Cansler, D. McKenzie //Remote sensing. – 2012. – № 4. – Pp. 465-483.

22. Cocks, A.E. Comparison of burn severity assessments using differenced normalized burn ratio and ground data / A.E. Cocks, P.Z. Fule, J.E. Crouse // *International Journal of Wildland Fire*. – 2005. – № 14. – Pp 189-98.
23. Loboda, T. Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data / T. Loboda, K.J. O'Neal, I. Csizsar // *Remote Sensing of the Environment*. – 2007. – № 109(4). – Pp. 429-442.
24. Wagtendonk, J.W. Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity / J.W. Wagtendonk, R.R. Root, C.H. Key // *Remote Sensing of Environment*. – 2004. – № 92. – Pp. 397-408.
25. The Fire Information for Resource Management System (FIRMS) <http://firefly.geog.umd.edu/firms> (дата обращения 10.06.2012).
26. Губаев, А.В. Классификация наземного покрова Среднего Поволжья по спутниковым снимкам среднего разрешения / А. В. Губаев, Э. А. Курбанов, О. Н. Воробьев и др. // *Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг: материалы международного научно-практического семинара [Электронный ресурс]*. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. – С.7-19. URL: <http://csfm.marstu.net/publications.html> (дата обращения 10.06.2012).
27. Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. в Марийской АССР: Сборник докладов и выступлений на выездном заседании секции лесного хозяйства и лесной промышленности научно-технического совета МВ и ССО СССР, проходившем в Йошкар-Оле с 16 по 21 сентября 1974 г. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. – 143 с.
28. Республиканская целевая программа «Лесовосстановление гарей 2010 года на 2011-2016 годы». http://gov.mari.ru/lawdocs/gov_decrees/2011/ (дата обращения 10.06.2012).

Статья поступила в редакцию 15.06.12.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научнопедагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение № 14.В37.21.1245 Министерства образования и науки Российской Федерации «Дистанционный мониторинг и прогнозирование состояния лесных насаждений по спутниковым снимкам», ГК № 02.740.11.0838 «Разработка и реализация алгоритмов передачи, обработки и анализа данных дистанционного зондирования лесных покровов для автоматических расчетов фитомассы растительности и пулов углерода» и тематического плана Министерства образования и науки Российской Федерации на 2012-2014 гг. «Оценка, мониторинг и прогнозирование биологической продуктивности лесов по данным спутниковой съемки».

O. N. Vorobyev, E. A. Kurbanov, A. V. Gubayev, S. A. Leznin, Y. A. Polevshikova

REMOTE MONITORING OF FOREST BURNT AREAS IN MARI ZAVOLZHJE

The NDVI and NBR indexes for the estimation of burnt forest areas of 1972 and 2010 wild fires in Mari Zavolgie Region with the use of remote sensing have been studied. In the study we used Landsat MSS, TM and ETM+ archive images, forest inventory data, experimental sample plots and satellite images of the higher resolution. The total forest burnt area on the territory of Middle Zavolgie regions was estimated as 212.3 thousand ha in 1972 and 100.2 thousand ha in 2010. Accuracy of the data has been estimated by the modern criteria of geo information statistics and independent sources like FIRMS.

Key words: *forest fires, remote sensing, vegetation indexes, satellite images, GIS, monitoring of forest ecosystems.*

ВОРОБЬЕВ Олег Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование лесов, депонирование углерода лесными экосистемами, мониторинг лесных экосистем. Автор более 40 научных и учебно-методических работ.

E-mail: vorobievon@volgatech.net

КУРБАНОВ Эльдар Аликрамович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, начальник управления международного сотрудничества Поволжского государственного технологического университета, руководитель Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – устойчивое управление лесами, биологическая продуктивность лесных экосистем, депонирование углерода лесными экосистемами, дистанционное зондирование земли, леса Киото. Автор более 100 научных и учебно-методических работ.

E-mail: kurbanovea@volgatech.net

ГУБАЕВ Александр Владимирович – аспирант кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 20 научных работ.

E-mail: galex@volgatech.net

ЛЕЖНИН Сергей Анатольевич – аспирант кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 15 научных работ.

E-mail: lejninsa@volgatech.net

ПОЛЕВЩИКОВА Юлия Александровна – программист кафедры лесоводства Поволжского государственного технологического университета (Россия, Йошкар-Ола). Область научных интересов – дистанционное зондирование земли, биологическая продуктивность лесных экосистем. Автор более 10 научных работ.

E-mail: polevshikovaya@volgatech.net