

## Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье

О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева

*Поволжский государственный технологический университет, Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов, Йошкар-Ола, 424000, Россия*

*E-mail: vorobievon@volgatech.net*

В работе приведены методика и результаты экспериментальных исследований по оценке состояния древостоев на гарях 2010 года, расположенных на территории Республик Марий Эл и Чувашия. Подробно описан алгоритм количественной и качественной оценки древостоев в после пожарный период их роста. Состояние поврежденных древостоев оценивалось на основе нормализованного индекса гарей (NBR) и индекса средне-взвешенной категории состояния древостоев (СВИ). Для изучения пространственного распределения и различной степени деградации лесных экосистем после пожаров 2010 г. в работе использована неуправляемая и управляемая классификация спутниковых снимков среднего разрешения Landsat 2009-2011 гг. Необходимые для исследований независимые полевые данные о состоянии древостоев были получены в ходе летних полевых работ на тестовых участках на территории обеих Республик. Результаты исследования показывают высокую степень взаимосвязи спектральных значений NBR и СВИ. Общая площадь лесов, пройденная пожарами в 2010 г., составила в Республике Марий Эл 100,3 тыс. га, в Чувашии – 12,7 тыс. га. Лесные пожары затронули в большей степени хвойные насаждения 1-2 класса возраста северной части Чувашии, а в Марий Эл пожарам в равной степени оказались подвержены хвойные и лиственные насаждения. Контрольные полевые выезды на гари подтвердили точность исследований и разработанной методики.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование земли, спектральные вегетационные индексы, лесные пожары, спутниковые снимки, классификация изображений, лесные экосистемы.

### Введение

Оперативное выявление площадей и степени повреждения древостоев лесными пожарами является важным элементом при принятии решений по их восстановлению и оценке сукцессии растительного покрова на нарушенных территориях. Актуальность исследований гарей также обусловлена точностью оценки пулов углерода в наземных экосистемах и при разработке адаптационных стратегий устойчивого управления лесами (Zheng et al., 2004; Kurbanov et al., 2007; Курбанов, 2009). Решению этих задач на региональном и континентальном уровне способствуют современные спутниковые изображения, которые позволяют существенно повысить качество и эффективность подобных работ (Лупян и др., 2011; Жирин и др., 2013; Терехин, 2012).

Одним из наиболее распространённых направлений дистанционной оценки площадей гарей и степени повреждения растительного покрова после пожара является использование различных вегетационных индексов, полученных с разновременных снимков спутников Landsat или MODIS. Это объясняется наличием большой архивной базы их снимков, мультиспектральных каналов в видимой и инфракрасной зоне электромагнитного спектра, приемлемым уровнем пространственного разрешения для проведения тематического картирования (Курбанов и др., 2014). Многочисленными исследованиями была

выявлена тесная корреляционная связь между показателями степени повреждения полога леса и значениями этих индексов вегетации. Нормализованный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) часто используется исследователями при работе как с единовременными снимками, так и разновременными изображениями (до и после пожара) (Hudak et al., 2007; Jose et al., 2012). Значительно реже при оценках гарей применяются индексы гарей BAI (Burnt Area Index) и почвенный вегетационный SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) (Epting et al., 2005; Wittenberg et al., 2007). В последние годы также широкое применение находит композитный индекс гарей (CBI – Composite Burn Index) и нормализованный индекс гарей (NBR - Normalized Burn Ratio) (Kasischke et al., 2008; Hoscilo et al., 2013). Оценка степени повреждения лесов пожарами по разновременным спутниковым снимкам MODIS на основе коротковолнового вегетационного индекса SWVI (short-wave vegetation index) предложена учеными института космических исследований РАН (Барталев и др., 2012; Стыценко и др., 2013).

Целью работы явилась оценка площадей гарей в Республиках Марий Эл (РМЭ) и Чувашия (РЧ) по спутниковым снимкам Landsat, образовавшихся после крупномасштабных лесных пожаров 2010 г., и оценка взаимосвязи между индексами NBR и CBI, полученных для древостоев разной степени поврежденности.

### **Объекты и методика исследований**

Полигонами для исследований послужили лесные гари 2010 гг. на территории РМЭ и РЧ (рис. 1). Полевые работы проводились в бесснежный период 2010-2014 гг. на территории Килемарского, Юринского, Кокшайского, Куярского, Моркинского и Волжского лесничеств РМЭ, а так же Ибресинского, Чебоксарского, Алатырского и Кирского лесничеств РЧ.

Для разработки полевых маршрутов (трансект) на территории гарей был проведен анализ спутниковых данных среднего и высокого разрешения (Landsat и RapidEye 2011 г.). Тестовые участки закладывались в бывших лесных насаждениях различных групп возраста, происхождения (естественные и искусственные) и состава (чистые и смешанные). Все бывшие древостои, подверженные пожарам, были стратифицированы по группам возраста и породного состава (Государственная инвентаризация..., 2009; Курбанов и др., 2013). При оценке последствий лесных пожаров во время полевых исследований была использована методика министерства чрезвычайных ситуаций Российской Федерации (Методика..., 1994). В работе были использованы разновременные мультиспектральные спутниковые снимки Landsat. Для формирования однородных изображений на территорию РМЭ и РЧ для всех снимков Landsat была проведена предварительная обработка спутниковых снимков в

программном комплексе ENVI–5.1 включающая: конвертацию собственных значений DN (Digital Number) изображения в показатели спектральной яркости, геометрическую коррекцию снимков и радиометрическую нормализацию изображений. В целом для оценки гарей были использованы 12 мультиспектральные сцены Landsat (zone 38N, zone 39N\_WGS84), полученные на исследуемую территорию с 2001 по 2011 гг. На основе этих снимков были получены две мозаики на территорию РМЭ и РЧ за 2001, 2009 и 2011 гг. В целом было исследовано 342 тестовых участка, из которых на гарях РМЭ было описано 147 участков, а на гарях РЧ – 195 участков. Для оценки степени нарушенности лесных насаждений пожарами по спутниковым снимкам были адаптированы четыре класса лесопатологического состояния деревьев в зависимости от степени повреждения: 1) отсутствует, 2) слабая, 3) умеренная и 4) сильная (рис. 2) (Руководство по планированию..., 2007).

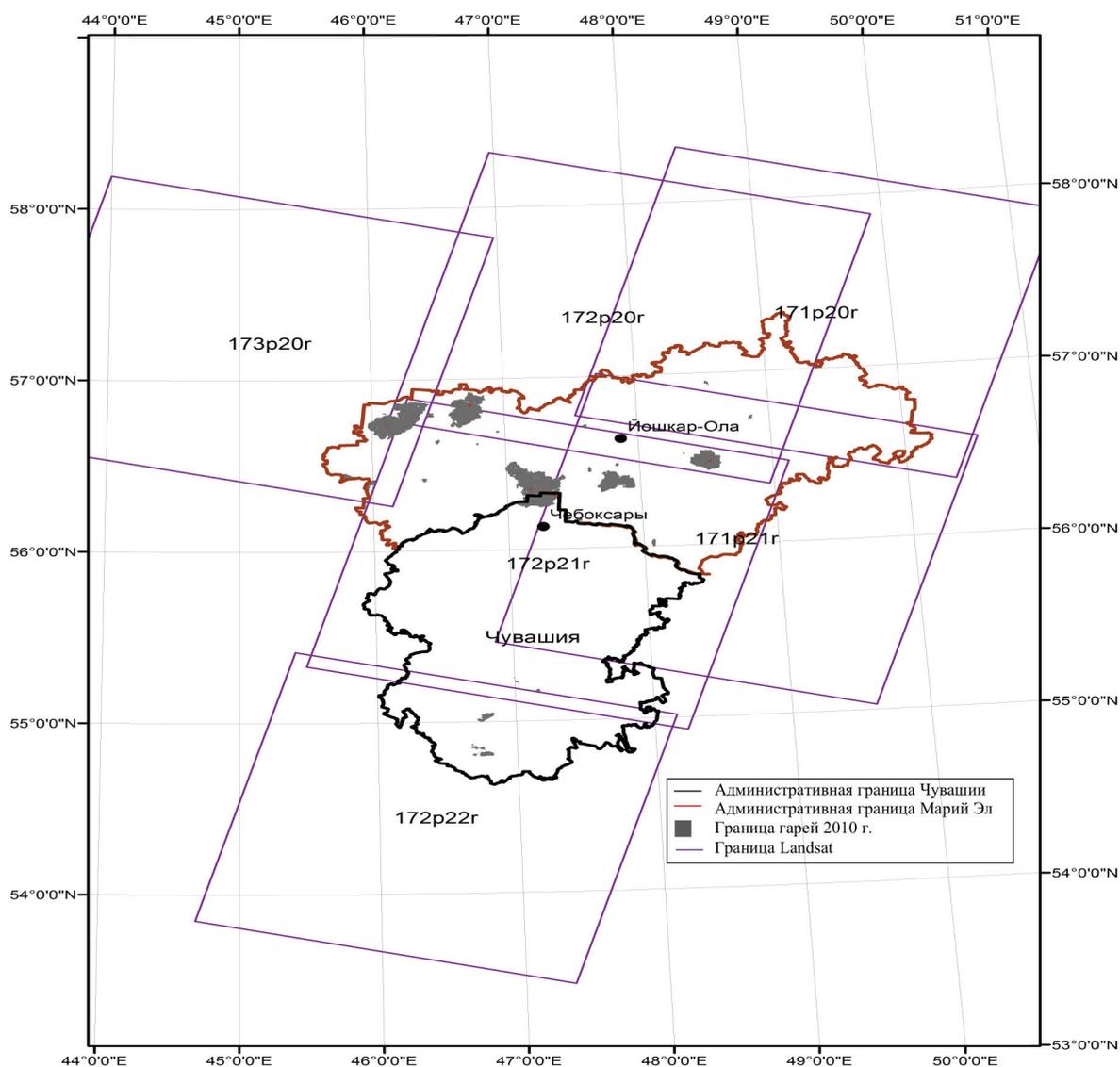


Рис. 1. Территория исследований



*Рис. 2. Классы нарушенности древостоев в зависимости от степени повреждения пожарами: а) отсутствует б) слабо, в) умеренно г) сильно*

Границы гарей 2010 г. на всей территории исследования и характер изменений структуры древостоев внутри выделенных участков определялись на основе использования разновременных спутниковых снимков, а так же нормализованного индекса гарей (NBR - Normalized Burn Ratio), который представляет собой разность спектральных отражений в ближнем и коротковолновом инфракрасных каналах, нормализованную на их сумму:

$$NBR=(TM4-TM7)/(TM4+TM7),$$

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 разновременным изображениям. После пожара в (инфракрасной зоне спектра) 4-м спектральном канале наблюдается снижение отражения светового потока, в то время как 7-й канал показывает более высокие значения и вариацию по сравнению с другими каналами. Разница между этими двумя спектральными каналами демонстрирует хорошие статистические оценки лесных пожаров площадью более чем 200 га (Loboda et al., 2007; Alina, McKenzie, 2012).

Тематическое картирование с последующим выделением масок гарей на территории исследования и классификацией площади гарей по степени повреждения насаждений пожаром по четырем классам нарушенности древостоев было проведено в два этапа с использованием программного пакета ENVI-5.1. На первом этапе была применена неуправляемая классификация спутниковых изображений ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). В результате этой классификации из мозаики сцен были выделены участки лесных гарей (в виде масок) на всю территорию исследования. Вся дальнейшая работа по определению классов нарушенности лесных насаждений проводилась по пороговым значениям  $\Delta NBR$  и CBI. Выделение классов нарушенности насаждений на изучаемой территории проводилось по пороговым значениям  $\Delta NBR$  (табл. 1), которые для каждого тестового участка на снимке определялись на основе средневзвешенного значения центрального участка размером три на три (3x3) пиксела.

Таблица 1. Распределение тематических классов по степени повреждения лесного насаждения по значениям  $\Delta NBR$

<i>№</i>	<i>Класс нарушений</i>	<i><math>\Delta NBR \times 1000^*</math></i>	<i><math>\Delta NBR</math></i>
1	Отсутствует	- 20 – (40)	-0,19 до – 0,04
2	Низкий	50 -290	-0,05 до 0,29
3	Умеренный	300 - 490	0,03 до 0,45
4	Сильный	> 460	0,46 и выше

Необходимым условием точности оценки значений  $\Delta NBR$  в пределах тестового участка является выделение его для лесной страты, имеющей относительно однородные таксационные характеристики (состав, высота, полнота и степень повреждения пожаром). Сформированные материалы и данные были использованы для тематического картирования гарей методом «дерево целей» управляемой классификации (рис. 3).

Полученные тематические карты в дальнейшем сравнивались с данными температурных аномалий за исследуемый период, зарегистрированных прибором MODIS (Fire Information for Resource Management System, FIRMS). Окончательный картографический материал с оценкой площади гарей и степени нарушенности древостоев для территории РМЭ и РЧ был сформирован в программном пакете ArcGIS-10.

Взаимосвязь между индексами  $\Delta NBR$  и CBI выявлялась с помощью линейных и полиномиальных моделей. По тематическим картам гарей, полученным на основе классификации изображений индекса  $\Delta NBR$  на исследуемую территорию, проводился анализ взаимосвязи данных спутников и наземной оценки средневзвешенного состояния лесных насаждений по индексу CBI.

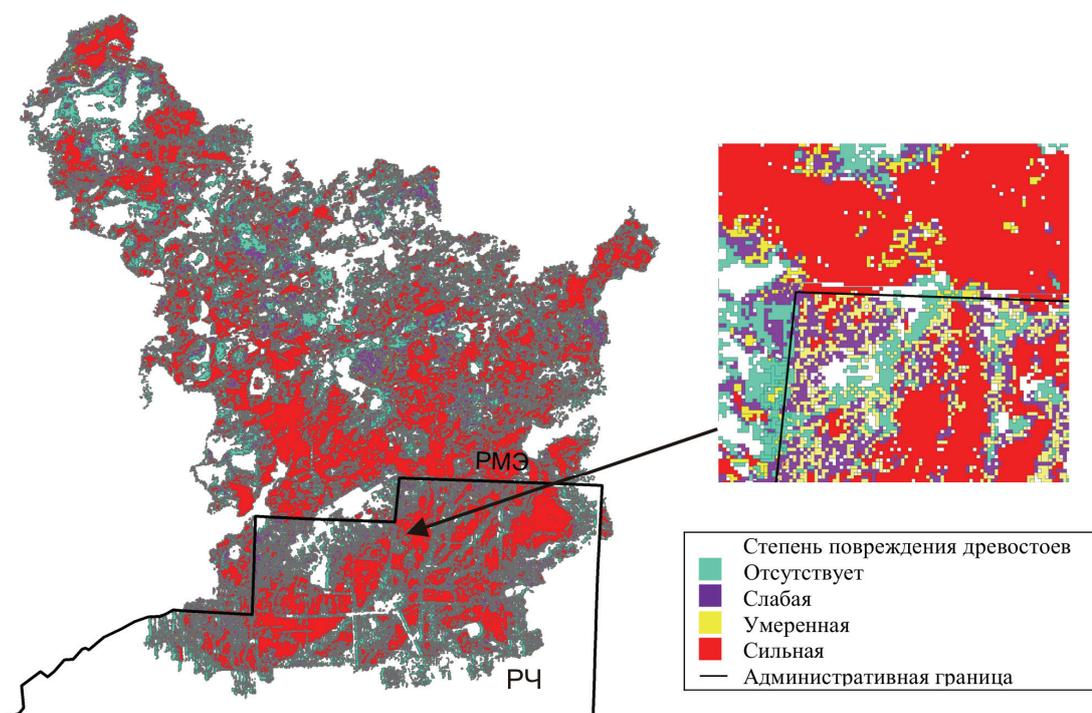


Рис. 3. Фрагмент тематической карты. Участок гарей 2010 г., по административной границе РМЭ (Кокшайское лесничество) и Чувашия (Чебоксарское лесничество)

### Результаты исследований

Статистический анализ данных показал тесную степень линейной корреляции ( $R > 0,84$ ) между значениями нормализованного разностного индекса гарей  $\Delta NBR$  и CBI для исследуемых участков гарей. Уровень точности (Accuracy assessment) по коэффициенту согласования каппа составил 0,81 ( $>0,75$ ) по РЧ и 0,77 ( $>0,75$ ) по РМЭ, что свидетельствует о значительном соответствии проведенной классификации полевым (тестовые участки) данным (табл. 2) (Курбанов и др., 2011).

Таблица 2. Статистики взаимосвязи данных CBI и  $\Delta NBR$

Территория исследования	Статистические показатели	
	R	Каппа
РМЭ	0,84	0,77
РЧ	0,88	0,81
В среднем	0,82	0,75

Как видно из табл. 3 и рис. 4 линейная и полиномиальная зависимости почти в одинаковой степени адекватно описывают корреляционную связь между CBI и  $\Delta NBR$ . Предпочтение каждой из представленных моделей для повышения точности оценки площадей гарей может приниматься в каждом конкретном случае.

Таблица 3. Результаты линейного и полиномиального моделирования результатов полевых исследований значений CBI и  $\Delta NBR$  на тестовых участках

Модель	Параметры и показатели модели				
	a	b	c	R <sup>2</sup>	Среднеквадратичная ошибка
Республика Чувашия					
$CBI = a + b(\Delta NBR)$	2,19	5,46		0,70	0,23
$CBI = a + b(\Delta NBR) + c(\Delta NBR)^2$	2,09	7,39	- 3,96	0,72	0,19
Республика Марий Эл					
$CBI = a + b(\Delta NBR)$	2,61	5,43		0,72	0,34
$CBI = a + b(\Delta NBR) + c(\Delta NBR)^2$	2,65	5,94	- 2,33	0,73	0,21

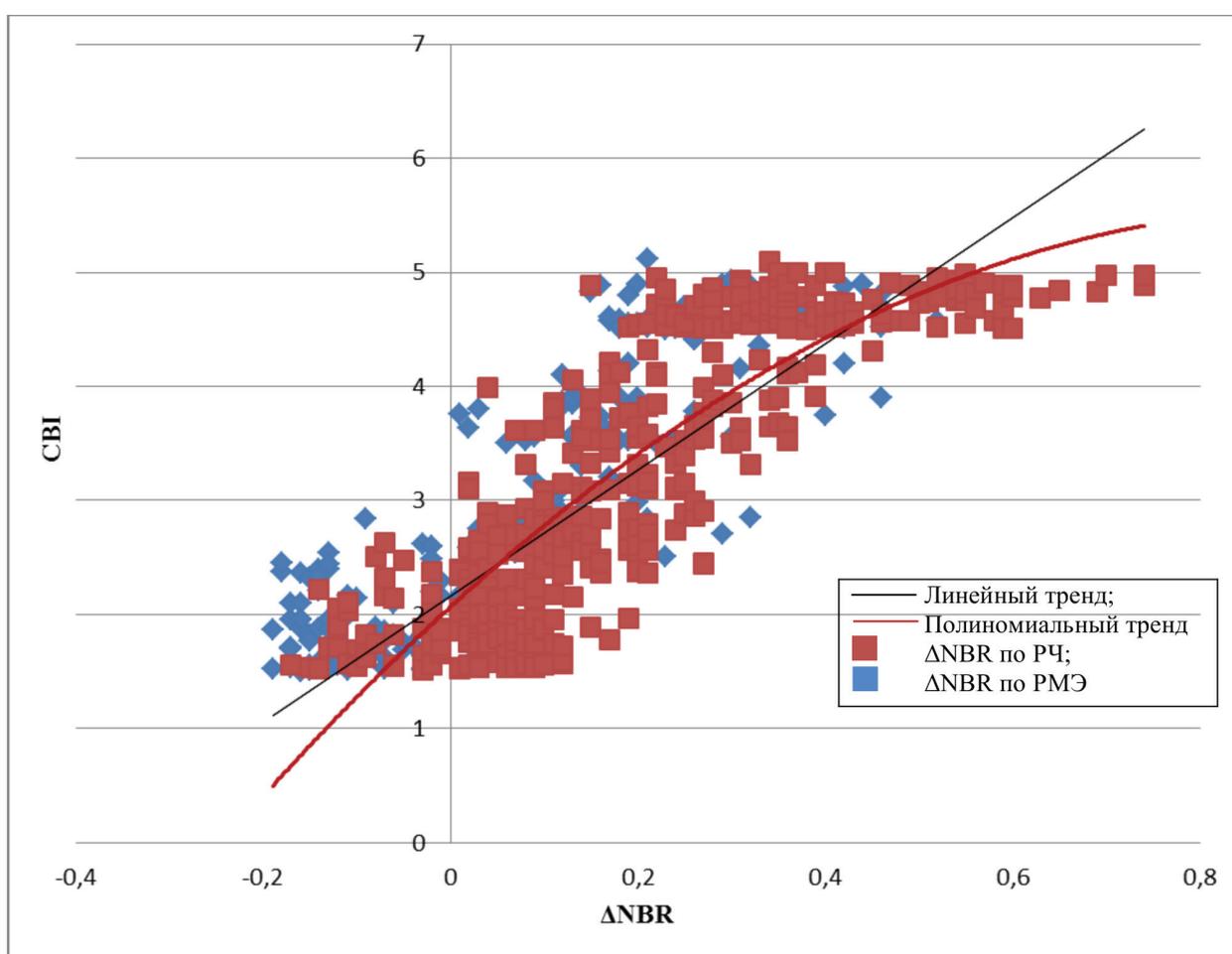


Рис. 4. График зависимости между значениями индексов CBI и  $\Delta NBR$ , полученных для всей территории исследований

Например, в некоторых исследованиях отмечается, что связь между  $\Delta NBR$  и CBI значительно снижается в коротковолновом инфракрасном диапазоне SWIR (2080–2350 нм) (7 спектральный канал Landsat-7). Это обстоятельство особенно заметно, если значения индекса CBI находятся в диапазоне от 2 до 2,5. В то же время снижение отражения в ближней инфра-

красной (NIR) зоне спектра (760-900 нм) (4 канал спутника Landsat 7) приводит к соответствующему повышению CBI (Chuvieco et al., 2006). Преимущество использования полиномиальной связи между индексами заключается в том, что оценка значений CBI выполняется по варьирующей шкале  $\Delta NBR$ , которая более адекватно описывает степень повреждения и экологическую динамику лесовосстановления в виде нелинейных моделей (Key, 2006).

На основании проведенного тематического картирования на территорию исследования были получены данные распределения гарей по площади и степени повреждения древостоев пожарами 2010 г. (табл. 4).

Таблица 4. Площади гарей по степени повреждения древостоев пожарами, тыс. га

Объект исследования	Степень повреждения (CBI)				Итого, тыс. га
	Отсутствует	Слабая	Умеренная	Сильная	
РЧ	2,6	2,3	3,1	4,7	12,7
РМЭ	18,4	17,9	16,8	47,2	100,3
Всего	21	20,2	18,9	51,9	113

Полученные данные индекса  $\Delta NBR \times 1000$  в виде расчетных пороговых значений были сравнены с результатами исследований других авторов (табл. 5).

Таблица 5. Сравнительные данные пороговых значений индекса  $\Delta NBR \times 1000$  различных авторов, используемых для оценки степени повреждений лесных насаждений пожарами

№	Степень повреждений гарей (Burn severity)	Коллектива ЦУДМЛ «ПГТУ»	Hall et al., 2008	Allison et al. 2005	Epting et al. 2005	Key, 2006	Alina and McKenzie, 2012
1	Отсутствует (Unburned)	- 20 – 40	$\leq 40$	$\leq 50$	$\leq 89$	0 -99	106
2	Слабая (Low)	50 - 290	41-283	51-240	90-274	0 - 269	218
3	Умеренная (Moderate)	300 - 490	284-513	241-570	274-679	40-659	456
4	Сильная (High)	> 460	$\geq 514$	$\geq 571$	$\geq 680$	60 -1300	$\geq 456$

Исследования показали, что полученные результаты индекса  $\Delta NBR$  в целом соответствуют данным других авторов. Тем не менее, стоит выделить ряд обстоятельств, влияющих на точность оценки статистической обработки данных:

- неоднородность изучаемого ландшафта и сложная горизонтальная и вертикальная структура древостоев;
- высокая степень фрагментации лесного покрова;
- индексы  $\Delta NBR$  не всегда могут служить хорошим прогнозным индикатором отклика лесной экосистемы на пожары, даже если между его значениями и CBI существует высокая степень корреляции;

Результаты наших исследований не выявили зависимости степени нарушенности древостоев на гарях, определяемой по значениям  $\Delta NBR$  и  $SBI$ , от основных типов леса или лесорастительных условий. Состав насаждения и разная доля участия березы в сосняках при таких погодных условиях, которые сложились летом 2010 года, также не могли существенным образом повлиять на степень распространения огня.

По нашим сведениям площадь лесов, пройденная пожарами в 2010 г. в РМЭ, составила 100,3 тыс. га (официальные данные 70,2 тыс. га), в РЧ это значение достигает 12,7 тыс. га (официальные данные 12,5 тыс. га). Большая часть гарей в РЧ приходится на хвойные насаждения (74,4%), лиственные составляют – 25,3%. В РМЭ пожары затронули древостои всех типов леса поровну (хвойные - 49,9%, лиственные - 49,2%). Наиболее подверженными пожарам оказались хвойные насаждения 1 и 2 класса возраста. 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 РМЭ, которые пострадали от пожаров в 1972 г. Площади, повторно пройденные огнем в 2010 гг., составили 34,2 тыс. га (Воробьев и др., 2012).

В РМЭ на большей части сгоревшей территории сформировались гари с высокой степенью повреждения древостоев. Наибольшую площадь занимают участки древостоев умеренной и высокой степени повреждения пожарами. Низкий уровень повреждения огнем обычно встречается на участках, расположенных по кромке гарей, на которых происходило затухание интенсивных пожаров. Это также характерно для участков, на которых прошли низовые пожары. Наибольшие потери пришлись на хвойные древостои, представленные в центральной, западной и северо-западной части РМЭ.

В РЧ лесные гари с древостоями высокой, умеренной и низкой степенью повреждения имеют приблизительно одинаковую площадь. Наибольшие потери пришлись на северную часть Республики в районе Чебоксарского лесничества. Здесь наблюдаются наибольшие площади древостоев с высокой и умеренной степенью повреждения огнем, что связано с происхождением и составом лесов. Большая часть сгоревшего леса на этой территории – это культуры сосны, созданные после пожаров 1972 г.

Считается, что точность тематических карт зависит от качества полевых исследований и уровня субъективности при работе с результатами классификации. Предложенный вариант методики представляет собой оптимальное сочетание этих двух факторов и может повысить точность процесса тематического картирования гарей.

Работа выполнена по проекту «Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации 2014 г.

## Литература

1. *Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценок 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. 9-26.
2. *Жирин В.М., Эйдлина С.П., Князева С.В.* Опыт лесоводственного анализа последствий пожаров по космическим изображениям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 243-259.
3. *Воробьев О.Н., Курбанов Э.А., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А.* Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1. С. 12-22.
4. Государственная инвентаризация лесов Российской Федерации. Рабочие правила проведения полевых работ. М.: Рослесинфорг. 2009. 96 с.
5. *Курбанов Э.А.* Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья // Лесной журнал. 2009. № 2. С. 7-15.
6. *Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А., Демшиева Е.Н.* Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 18-32.
7. *Курбанов Э.А., Воробьев О.Н., Незамаев С.А., Губаев А.В., Лежнин С.А., Полевщикова Ю.А.* Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3. С. 72-82.
8. *Курбанов Э.А., Нуреева Т.В., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Мифтахов Т.Ф., Незамаев С.А., Полевщикова Ю.А.* Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье // Вестник Марийского государственного технического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2011. № 3. С. 17-24.
9. *Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толтин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 190-198.
10. Методика оценки последствий лесных пожаров. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (книга 2). М.: МЧС России, 1994 г. 11 с.
11. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований. Приложение 3 к приказу Рослесхоза от 29.12.2007 № 523.
12. *Стыценок 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. № 3. С. 243-259.
13. *Терехин, Э.А.* Анализ каналов спутниковых данных Landsat TM для оценки характеристик лесных насаждений лесостепной провинции среднерусской возвышенности // Исследование земли из космоса. 2012. № 2. С. 53-62.
14. *Alina C., McKenzie D.* How Robust Are Burn Severity Indices When Applied in a New Region? Evaluation of Alternate Field-Based and Remote-Sensing Methods // Remote Sensing. 2012, Vol. 4. P. 456-483.
15. *Allison E.C., Peter A.B., Fulé A.Z., B,Cand Joseph E. Crouse.* Comparison of burn severity assessments using Differenced, Normalized Burn Ratio and ground data // International Journal of Wildland Fire. 2005. Vol. 14. P. 189-198.
16. *Chuvieco E, Riano D, Danson F.M, Martin M.P.* Use of a radiative transfer model to simulate the post-fire spectral response to burn severity // Journal of Geophysical Research. 2006. Vol. 111. DOI: 10.1029/2005JG000143.
17. *Epting J., Verbyla D., Sorbel B.* Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+ // Remote Sensing of Environment. 2005. Vol. 96. P. 328 – 339.
18. *Hall R.J., Freeburn J.T., de Groot W.J., Pritchard J.M., Lynham T.J., Landry R.* Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires // International Journal of Wildland Fire. 2008. Vol. 17. P. 476-489.
19. *Hoscilo A., Tansey K.J., Page S.E.* Post-fire vegetation response as a proxy to quantify the magnitude of burn severity in tropical peatland // International Journal of Remote Sensing. 2013. Vol. 34(2). P. 412-433.
20. *Hudak A.T., Morgan P., Smith B.M.J., Lewis S.A., Lentile L.B., Robichaud P.R., Clark J.T., McKinley R.A.* The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects // Journal of Fire Ecology. 2007. Vol. 3. P. 64-90.
21. *Jose R.R.L. van Leeuwen W.J.D., Casady G.M.* Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments // Remote sensing. 2012. Vol. 4. P. 598-621.

22. *Kasischke E.S., Turetsky M.R., Ottmar R.D., French N.H.F., Hoy E.E., Kane E.S.* Evaluation of the composite burn index for assessing fire severity in Alaskan black spruce forests // *International Journal of Wildland Fire*. 2008. Vol. 17. P. 515–526.
23. *Key C.H.* Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity // *Fire Ecology*. 2006. Vol. 2. pp. 34–59.
24. *Kurbanov E., Vorobiev O., Gubayev A., Moshkina L., Lezhnin S.* Carbon sequestration after pine afforestation on marginal lands in the Povolgie region of Russia: A case study of the potential for a Joint Implementation activity // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2007. Vol. 22. P. 488–499.
25. *Loboda T., O'Neal K.J., Csiszar I.* Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data // *Remote Sensing of the Environment*. 2007. Vol. 109(4). P. 429–442.
26. *Wittenberg L., Malkinson D., Beeri O., Halutzky A., Tesler N.* Spatial and temporal patterns of vegetation recovery following sequences of forest fires in a Mediterranean landscape Mt Carmel Israel // *Catena*. 2007. Vol. 71. P. 76–83.
27. *Zheng D., Rademacher J., Chen J., Crow T., Bresee M., Moine J.Le, Ryu S.R.* Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA // *Remote sensing of environment*. 2004. Vol. 93. P. 402–411.

## **The method of identifying burn severity of disturbed forest stands after wild fires of 2010 in Middle Povolzhje**

**O.N. Vorobiev, E.A. Kurbanov, S.A. Lezhnin, Y.A. Polevshikova, E.N. Demisheva**

*Volga State University of Technology, Center of Sustainable Forest Management and Remote Sensing, Yoshkar-Ola, 424000, Russia*  
*E-mail: vorobievon@volgatech.net*

The paper discusses the method and results of experimental study on estimating burn severity of forest stands after wild fires of 2010 on the territory of Republics Mari El and Chuvashia. The algorithm of qualitative and quantitative estimation of forest stands in post-fire period of growth was described in detail. The state of the disturbed forest stands was estimated on the basis of Normalized Burn Ratio (NBR) and Composite Burn Index (CBI). For the evaluation of spatial distribution and different severity of degradation of forest ecosystems after wild fires of 2010, an unsupervised and supervised classification of Landsat images of 2009–2011 was applied. Ground truth reference and field data on the state of forests were obtained on the territory of test sites in both Republics during summer experimental works. The research results showed high degree of correlation between the spectral data of NBR and CBI indexes. The total burnt forest area after wild fires of 2010 in the Republic Mari El is 100,300 ha, while in Chuvashia – 12,700 ha. The wild fires affected mostly conifer stands of the 1–2 age class in the Northern part of Chuvashia, in Mari El the conifer and broadleaved forests were exposed equally. Control field trips to the burnt areas confirmed the accuracy of the research and the developed methodology.

**Keywords:** remote sensing, spectral vegetation indexes, forest fires, satellite images, image classification, forest ecosystems.

### **References**

1. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Lupyan E.A., Styitsenko F.V., Flitman E.V.* Otsenka ploschadi pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikoviyh dannyih razlichnogo prostranstvennogo razresheniya MODIS i Landsat-TM/ETM (Integrated burnt area assessment based on combine use of multi-resolution MODIS and Landsat-TM/ETM+ satellite data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 9–26.
2. *Zhirin V.M., Eydlina S.P., Knyazeva S.V.* Opyit lesovodstvennogo analiza posledstviy pozharov po kosmicheskim izobrazheniyam (Silvicultural analyses of the fires effects on the base of space images), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp. 243–259.
3. *Vorobiev O.N., Kurbanov E.A., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevshikova Yu.A.* Distantsionnyy monitoring lesnykh garey v Mariyskom Zavolzhje (Remote monitoring of forest burnt areas in Mari Zavolzhje), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*, 2012, Vol. 1, pp. 12–22.

4. *Gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov Rossiyskoy Federatsii. Rabochie pravila provedeniya polevykh rabot* (State forest inventory of Russian Federation. Guidelines for the field works), Moscow: Roslesinform, 2009, 96 p.
5. Kurbanov E.A. Modelirovaniye byudzheta ugleroda lesnykh nasazhdeniy na primere sosnyakov Povolzhya (Modelling of forest's carbon budget on the example of pine stands in Povolzhje), *Lesnoy zhurnal*, 2009, Vol. 2, pp. 7-15.
6. Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevschikova Yu.A., Demisheva E.N. Chetyre desyatiletiya issledovaniy lesov po snimkam Landsat (Four decades of forest research with the use of Landsat images), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*, 2014, Vol. 1, No. 21, pp. 18-32.
7. Kurbanov E.A., Vorobev O.N., Nezamaev S.A., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Polevschikova Yu. A. Tematicheskoe kartirovaniye i stratifikatsiya lesov Mariyskogo Zavolzhya po sputnikovym snimkam Landsat (Thematic mapping and stratification of forests in Middle Zavolzhje by Landsat satellite images), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*, 2013, Vol. 3, pp. 72-82.
8. Kurbanov E.A., Nureeva T.V., Vorobev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Miftahov T.F., Nezamaev S.A., Polevschikova Yu.A. Distsionnyy monitoring dinamiki narusheniy lesnogo pokrova, lesovozobnovleniya i lesovosstanovleniya v Mariyskom Zavolzhje (Remote monitoring of disturbances in forest cover, reforestation and afforestation of Mari Zavolzhje), *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*, 2011, Vol. 3, pp. 17-24.
9. Lupyan E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. Sputnikovyy servis monitoringa sostoyaniya rastitelnosti («Vega») (Satellite service for vegetation monitoring VEGA), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No.1, pp. 190-198.
10. *Metodika otsenki posledstviy lesnykh pozharov. Sbornik metodik po prognozirovaniyu vozmozhnykh aviariy, katastrof, stihiyinykh bedstviy v RSChS (kniga 2)* (Estimation method of wild fires severity on forests: proceedings for the prognosis of possible accidents, catastrophes, natural disasters in Russia (Vol. 2)), MChS Rossii, 1994, 11 p.
11. Rukovodstvo po planirovaniyu, organizatsii i vedeniyu lesopatologicheskikh obsledovaniy. (Guidelines for planning, organization and carrying out forest pathology research) *Rosleshoz Rule # 523 of 29.12.2007*.
12. Stytsenko F.V., Bartalev S.A., Egorov V.A., Lupyan E.A. Metod otsenki stepeni povrezhdeniya lesov pozharami na osnove sputnikovyykh dannykh MODIS (Post-fire forest tree mortality assessment method using MODIS satellite data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, Vol. 10, No. 3, pp. 243-259.
13. Terehin, E.A. Analiz kanalov sputnikovyykh dannykh Landsat TM dlya otsenki harakteristik lesnykh nasazhdeniy lesostepnoy provintsii srednerusskoy vozvyishennosti (Analysis of Landsat TM satellite data bands for the estimation of forest stand characteristics of forest-steppe province in Middle Russian upland), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2012, No. 2, pp. 53-62.
14. Alina C., McKenzie D., How Robust Are Burn Severity Indices When Applied in a New Region? Evaluation of Alternate Field-Based and Remote-Sensing Methods, *Remote Sensing*, 2012, Vol. 4, pp. 456-483.
15. Allison E.C., Peter A.B., Fulé and Joseph E. Crouse. Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data, *International Journal of Wildland Fire*, 2005, Vol. 14, pp. 189-198.
16. Chuvieco E, Riano D, Danson F.M, Martin M.P, Use of a radiative transfer model to simulate the post-fire spectral response to burn severity, *Journal of Geophysical Research*, 2006, Vol. 111, DOI: 10.1029/2005JG000143.
17. Epting J., Verbyla D., Sorbel B., Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+, *Remote Sensing of Environment*, 2005, Vol. 96, pp. 328 – 339.
18. Hall R.J., Freeburn J.T., de Groot W.J., Pritchard J.M., Lynham T.J., Landry R., Remote sensing of burn severity: experience from western Canada boreal fires, *International Journal of Wildland Fire*, 2008, Vol. 17, pp. 476-489.
19. Hoscilo A., Tansey K.J., Page S.E., Post-fire vegetation response as a proxy to quantify the magnitude of burn severity in tropical peatland, *International Journal of Remote Sensing*, 2013, Vol. 34, No. 2, pp. 412-433.
20. Hudak A.T., Morgan P., Smith B.M.J., Lewis S.A., Lentile L.B., Robichaud P.R., Clark J.T., McKinley R.A., The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects, *Journal of Fire Ecology*, 2007, Vol. 3, pp. 64-90.
21. Jose R.R.L. van Leeuwen W.J.D., Casady G.M., Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre-Fire Restoration Treatments, *Remote sensing*, 2012, Vol. 4, pp. 598-621.
22. Kasishche E.S., Turetsky M.R., Ottmar R.D., French N.H.F., Hoy E.E., Kane E.S., Evaluation of the composite burn index for assessing fire severity in Alaskan black spruce forests, *International Journal of Wildland Fire*, 2008, Vol. 17, pp. 515-526.

23. Key C.H., Ecological and sampling constraints on defining landscape fire severity, *Fire Ecology*, 2006, Vol. 2, pp. 34-59.
24. Kurbanov E., Vorobiev O., Gubayev A., Moshkina L., Leznin S., Carbon sequestration after pine afforestation on marginal lands in the Povolgie region of Russia: A case study of the potential for a Joint Implementation activity, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2007, Vol. 22, pp. 488-499.
25. Loboda T., O'Neal K.J., Csiszar I., Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data, *Remote Sensing of the Environment*, 2007, Vol. 109, No. 4, pp. 429-442.
26. Wittenberg L, Malkinson D., Beerli O., Halutzky A., Tesler N., Spatial and temporal patterns of vegetation recovery following sequences of forest fires in a Mediterranean landscape Mt Carmel Israel, *Catena*, 2007, Vol. 71, pp. 76-83.
27. Zheng D., Rademacher J., Chen J., Crow T., Bresee M., Moine J.Le, Ryu S.R., Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA, *Remote sensing of environment*, 2004, Vol. 93, pp. 402-411.