

МОНИТОРИНГ ЛЕСНЫХ ГАРЕЙ МУХАФАЗА ЛАТАКИЯ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС ТЕХНОЛОГИЙ

М. С. Али, Р. Г. Зейна

Департамент экологии и лесного хозяйства, Факультет сельского хозяйства
Университет Тишрин, Латакия, Сирия

Лесные пожары представляют собой серьезную экологическую проблему в условиях меняющегося климата. В связи с этим оценка и мониторинг гарей представляют собой важную задачу при разработке мероприятий по устойчивому управлению лесами. Для решения этих вопросов широкое применение находят методы дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий. Целью нашего исследования была оценка динамики лесных гарей и выявление степени нарушенности экосистем в результате пожаров 2007, 2013, 2015-2020 гг. на территории мухафаза Латакия Сирийской Арабской Республики (САР) по спутниковым архивным данным Landsat и данным спектральных индексов. Результаты индекса свидетельствуют, что во время лесных пожаров сгорело в общей сложности 23911,1 га площади лесных насаждений мухафаза Латакия, из которых 15471,2 га только за 2020 г. пришлось на хвойные насаждения. Выявлены участки гарей с различной степенью нарушений в результате пожаров 2020 г. Точность полученных данных подтверждается современными критериями геоинформационной статистики. Будущий мониторинг лесных гарей в САР следует выполнять с помощью спутниковых данных Sentinel-2, обладающих более высоким пространственным разрешением по сравнению с Landsat.

Ключевые слова: лесные пожары, спутниковые снимки, Landsat, Сирийская Арабская Республика, Латакия, индексы растительности, NBR, dNBR.

MONITORING OF FOREST BURNT AREAS IN LATAKIA OF THE SYRIAN ARAB REPUBLIC BY REMOTE SENSING AND GIS TECHNOLOGIES

M. S. Ali, R. G. Zaina

Department of Ecology and Forestry, Faculty of Agriculture
Tishreen University, Latakia, Syria

Forest fires pose a serious environmental problem in a changing climate. In this regard, assessment and monitoring of burnt areas is an important task when developing measures for sustainable forest management. To solve these issues, remote sensing of the Earth and GIS technologies are widely used. The purpose of our study was to assess the dynamics of forest burnt areas and the degree of disturbance of ecosystems as a result of fires in 2007, 2013, 2015-2020 on the territory of the Latakia of the Syrian Arab Republic with the use of Landsat satellite archive and spectral indices data. The index results indicate that during forest fires, a total of 23,911.1 ha of forest area in Latakia burned, of which 15,471.2 ha were coniferous plantations in 2020 alone. Burnt areas with varying degrees of disturbance as a result of the 2020 fires were identified. The accuracy of the data obtained is confirmed by modern criteria of geo-information statistics. Future monitoring of

forest burnt areas in the SAR should be carried out using Sentinel-2 satellite data, which has a higher spatial resolution compared to Landsat.

Keywords: *Forest fires, satellite images, Landsat, Syrian Arab Republic, Latakia, Vegetation indices, NBR, dNBR.*

Введение. Лесные пожары являются одним из важных факторов нарушения природных экосистем (Lan et al., 2022), последствием которых во всем мире оказывается деградация лесных насаждений как из-за антропогенных, так и из-за природных процессов (Sachdeva et al., 2018; Venkatesh et al., 2020). Лесные пожары могут изменить физический и химический состав органического вещества почв, что способно привести к невозможности ее восстановления (Nasery, Kalkan, 2020). Они также негативно влияют на глобальные выбросы углерода (Ngadze et al., 2020; Roteta et al., 2019), биоразнообразие экосистем (Malambo, Heatwole, 2020), а также на процесс лесовосстановления и деятельность человека (Mallinis et al., 2018). В связи с этим наличие оперативной и детальной информации о лесных пожарах имеет большое значение для внедрения эффективных превентивных стратегий и мер по смягчению последствий пожаров, планирования и выполнения мероприятий по землепользованию и восстановлению растительности после пожаров (Курбанов и др., 2011; Katagis, Gitas, 2021; Pereira et al., 2018).

Как правило, полевые наблюдения очень сложны в пространственных и временных масштабах, особенно при определении классов нарушенности лесов после пожаров (Filipponi, 2018). В то же время подходы дистанционного зондирования в сочетании с передовой обработкой изображений стали эффективными альтернативными инструментами для оценки лесных гарей (Воробьев, Курбанов, 2017; Стыценко и др., 2016; Gómez, Pilar, 2011). С помощью спутниковых наблюдений можно быстро и точно оценить состояние лесов до и после пожаров при относительно меньших затратах (Барталев и др., 2012; Chuvieco et al., 2019; Teodoro, Amaral, 2019). Спутниковые изображения стали основным источником данных для оценки риска лесных пожаров (Воробьев, Курбанов, 2017; Giglio et al., 2018), картографирования гарей лесов, а также оценки ущерба, нанесенного растительному покрову после лесного пожара (Frazier et al., 2018). Быстро развивающиеся спутниковые технологии вносят большой вклад в автоматизацию процессов обнаружения пожаров в режиме реального времени, а также в процессы картографирования гарей в различных пространственных и временных масштабах (Kurbanov et al., 2022; Long et al., 2019).

Несколько глобальных продуктов для картографирования гарей были разработаны с использованием спутниковых данных. Например, в последнее время часто используются изображения Landsat 8 и Sentinel-2 (Кашницкий, 2022; García-Llamas et al., 2019; Roy et al., 2019). Одним из методов дистанционной оценки площадей гарей и степени повреждения растительного покрова после пожара является использование спектральных индексов, полученных с разновременных снимков спутников системы Landsat. Временные ряды Landsat больше всего подходят для наблюдения за пространственной и временной динамикой из-за их умеренного пространственного разрешения (30 м), 16-дневного временного повторения и доступности исторических данных (Alencar et al., 2020; Fang et al., 2015; Liu et al., 2020). Часто используемым в таких оценках, с применением как единовременных снимков, так и разновременных изображений (до и после пожара), является нормализованный разностный индекс растительности NDVI (*англ.* Normalized difference vegetation index). Также широко используются дифференцированный нормализованный индекс гарей NBR (*англ.* Normalized burn ratio) (Key, Benson,

2006) и его относительная версия RdNBR (Soverel et al., 2010), индекс растительности с поправкой на почву SAVI (*англ.* Soil adjusted vegetation index) и оптимизированный индекс растительности EVI (*англ.* Enhanced Vegetation Index) (Quintero et al., 2019; Bright et al., 2019).

Chuvieso и др. (2019) предложили разделить методы дистанционного зондирования для оценки степени повреждения древостоев на гаях на физические и эмпирические группы. Физические методы предполагают получение информации о сгоревшем объекте на основе регистрации детектором отраженного сигнала от нарушенной поверхности. Эмпирические методы основаны на статистической регрессии или машинном обучении для оценки гаяей и относительно просты в реализации и интерпретации (Gholamrezaie et al., 2022; Hu, Hu, 2019).

В связи с усиливающимся влиянием изменения климата режимы пожаров становятся все более выраженными в лесах Средиземноморья (Oliveira et al., 2018; Zema et al., 2020). Многие страны этого региона, страдающие от лесных пожаров, не обладают соответствующими данными об их площади и последствиях, что особенно характерно для лесного покрова Сирийской Арабской Республики (Али и др., 2020). В этом регионе, который характеризуется сложной и фрагментированной структурой природного ландшафта, лесные гаяи обычно имеют небольшие площади. При этом спутниковые снимки с высоким пространственным разрешением зачастую представляют собой важный, а в некоторых случаях и единственный источник данных для идентификации таких участков (Boschetti et al., 2010; Veraverbeke et al., 2011). В данной работе был учтен опыт вышеприведенных исследователей при картографировании гаяей в Сирийской Арабской Республике.

Цель работы – оценка площадей гаяей на территории мухафаза Латакия Сирийской Арабской Республики (САР), образовавшихся после крупномасштабных лесных пожаров 2007, 2013, 2015-2020 гг., с использованием коэффициентов NBR и dNBR.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- подобраны разновременные спутниковые снимки Landsat 5 и Landsat 8;
- на основе индексов NBR и dNBR выявлены площади гаяей 2007, 2013, 2015-2020 гг.;
- проведена пошаговая неуправляемая классификация мозаики изображений на основе индекса dNBR, полученных по разновременным снимкам Landsat;
- проведена оценка точности полученных тематических карт;
- Определена степень нарушения лесов мухафаза Латакия (САР) в 2020 гг.

Объектами исследования явились лесные насаждения на территории мухафаза (провинция) Латакия САР, расположенной на восточном побережье Средиземного моря (рис.1). Горные цепи в Сирии тянутся с севера на юг страны и включают холмистую местность, расположенную параллельно границе побережья Средиземного моря, разделяющего страну на влажную западную часть и засушливую восточную. Лесные территории в основном расположены в прибрежной зоне (Атлас мира, 2017). Мухафаз Латакия характеризуется полусухим средиземноморским климатом и частыми периодами засухи в летний период, что приводит к опасности возникновения лесных пожаров и сложности их предотвращения и ликвидации.



Рис. 1. Мухафаз Латакия на карте Сирийской Арабской Республики (Yandex карта)

Общая площадь естественных лесных насаждений САР лесов оценивается в 240650 га, из которых на провинцию Латакия приходится 37 %, что эквивалентно 85000 га. Большие площади высокополнотных лесов в мухафазе Латакия расположены в горных районах с крутыми склонами (Lattakia agriculture directorate, 2018). Лесорастительные условия этой территории различаются в зависимости от географического положения: высоты над уровнем моря, удаленности от прибрежной зоны, степени влияния воздушных масс и осадков (Hussain et al., 2016). Близость лесов на отдельных участках к сельскохозяйственным угодьям повышает вероятность их нарушений в результате антропогенной деятельности, включая пожары (Али и др. 2020).

Методика исследования и материалы. С целью оценки границ и степени повреждения древостоев пожарами в лесных массивах на территории мухафаза Латакия Сирийской Арабской Республики (САР) в 2007, 2013, 2015- 2020 г. (рис. 2) в период 2021-2023 гг. на горях были проведены полевые работы по закладке тестовых участков (ТУ).

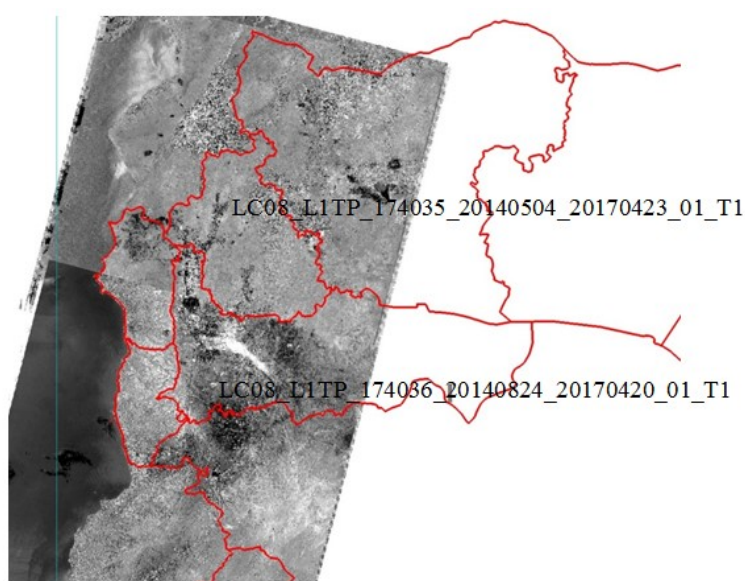


Рис. 2. Покрытие снимками Landsat 2014 г. территории исследования

Для тематического картографирования изучаемой местности использовались разновременные мультиспектральные спутниковые снимки Landsat (TM и OLI+) с пространственным разрешением 30 м. Снимки прошли стандартный уровень 1G геометрической и радиометрической калибровки. Для формирования однородных изображений на территории мухафаза Латакия (CAP) для всех снимков Landsat были проведены атмосферная коррекция в модуле FLAASH и линейное спектральное выравнивание изображений в программном комплексе ENVI-5.0. Всего в работе для оценки гарей было использовано 16 мультиспектральных сцен Landsat, полученных на исследуемую территорию за период с 2004 по 2020 гг. (табл. 1).

Таблица 1. Основные характеристики используемых снимков Landsat

№	Спутник	Ситуация	Номер снимка	Дата съёмки (летний-осенний период)
1	Landsat 5	до пожара	LT05_L1TP_174035_20070620	20 июня 2007 года
2	Landsat 5	после пожара	LC05_L1TP_174035_20070904	4 сентября 2007 года
3	Landsat 8	до пожара	LO08_L1TP_174035_20130602	2 июня 2013 года
4	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20131008	8 октября 2013 года
5	Landsat 8	до пожара	LC08_L1TP_174035_20150608	8 июня 2015 года
6	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20150912	12 сентября 2015 года
7	Landsat 8	до пожара	LC08_L1TP_174035_20160620	20 июня 2016 года
8	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20161117	17 ноября 2016 года
9	Landsat 8	до пожара	LC08_L1TP_174035_20170629	29 июня 2017 года
10	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20171019	19 октября 2017 года
11	Landsat 8	до пожара	LC08_L1TP_174035_20180616	16 июня 2018 года
12	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20181107	7 ноября 2018 года
13	Landsat 8	до пожара	LC08_L1TP_174036_20190603	3 июня 2019 года
14	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20191126	26 ноября 2019 года
15	Landsat 8	до пожара	LC08_L1TP_174035_20200824	24 августа 2020 года
16	Landsat 8	после пожара	LC08_L1TP_174035_20201027	27 октябрь 2020 года

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

$$NBR = TM4 - TM7 / TM4 + TM7 \text{ для Landsat 5}$$

$$NBR = TM5 - TM7 / TM5 + TM7 \text{ для Landsat 8,}$$

где TM 4, 5 и TM7 – спектральные значения двух каналов спутника Landsat 5 и 8 в диапазоне (0,75–0,90 мкм) и (2,09–2,35 мкм) соответственно.

Для определения количественной оценки степени повреждения территории лесными пожарами был использован разностный индекс гарей dNBR, который вычислялся на основании разности индексов NBR, полученных на снимках Landsat (TM и OLI+) (до и после пожаров). 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.

Для полученных тематических карт на основе индекса гарей NBR были использованы мозаики мультиспектральных спутниковых снимков Landsat для территории мухафаза Латакия САР, на основе которых получена базовая растровая тематическая карта разностного индекса гарей dNBR. Работа по оценке гарей проводилась с использованием комплексных программных пакетов Arc GIS10.3 и ENVI-5.0, что определяется следующим уравнением:

$$dNBR = NBR_{\text{до пожара}} - NBR_{\text{после пожара}}.$$

В результате получено растровое изображение dNBR по изображениям Landsat (рис. 3).

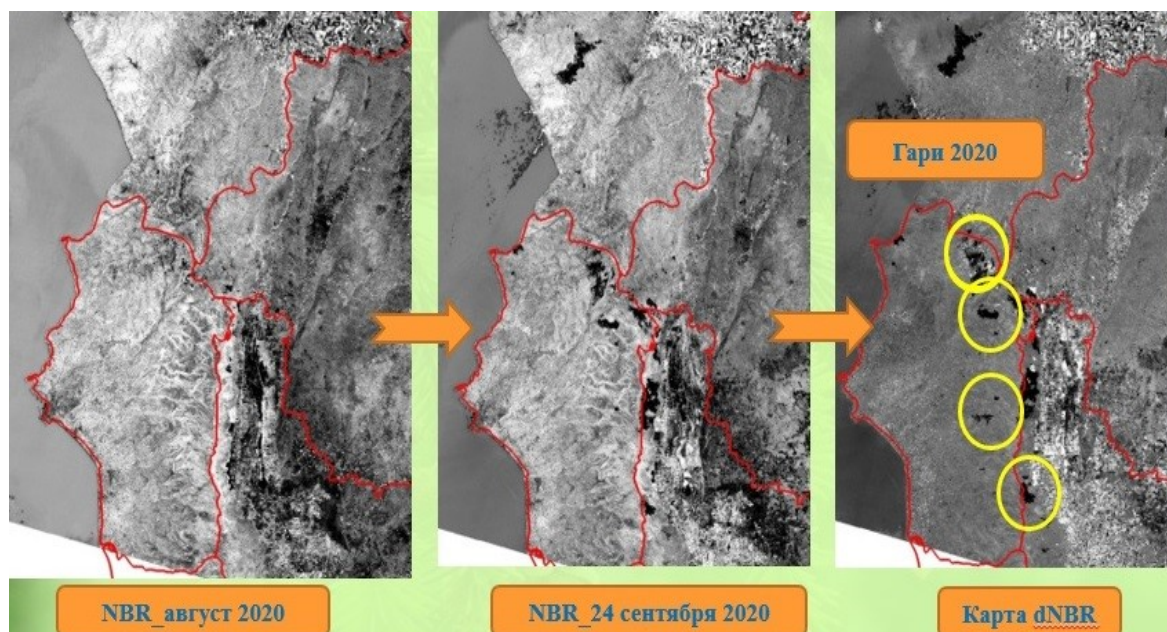


Рис. 3. Итоговое изображение dNBR, полученное по результатам разности растров: до пожара (август_2020 г.) и после (сентябрь 2020 г.) на территорию мухафаза Латакии по разновременным изображениям Landsat

Для получения объективных карт лесных гарей по изображениям dNBR в пакете ENVI-5.0 была проведена пошаговая классификация с использованием метода неуправляемой классификации ISODATA (*англ.* Iterative Self-Organizing Data Analysis Technology) и экспертной оценки, что позволило определить точные характеристики и степень повреждения лесных насаждений. В результате этой классификации была получена объективная карта мухафаза Латакия на 10 классов наземного покрова. Гари были выделены красным цветом (рис. 4).

В результате неуправляемой классификации были получены тематические карты за разные временные периоды мухафаза Латакия (САР) с выделением тематического класса «гари», при помощи которого в последующем был получен растровый слой динамики гарей с 2013 по 2020 г. (рис. 5).

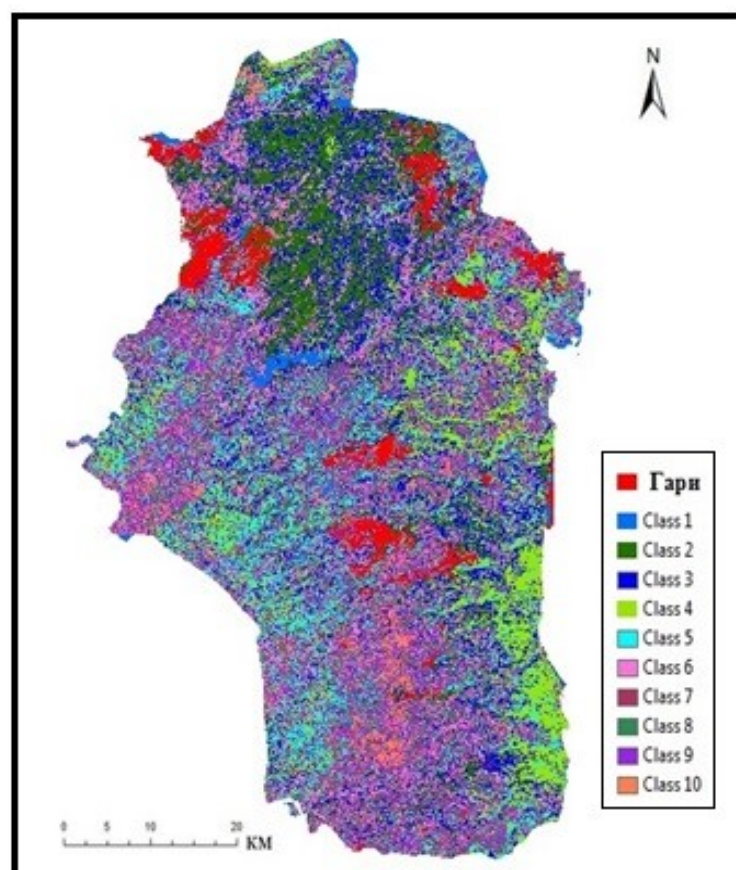


Рис. 4. Карта мухафаза Латакия, полученная с помощью пошаговой классификации ISODATA. Класс гари 2020 г. выделен красным цветом

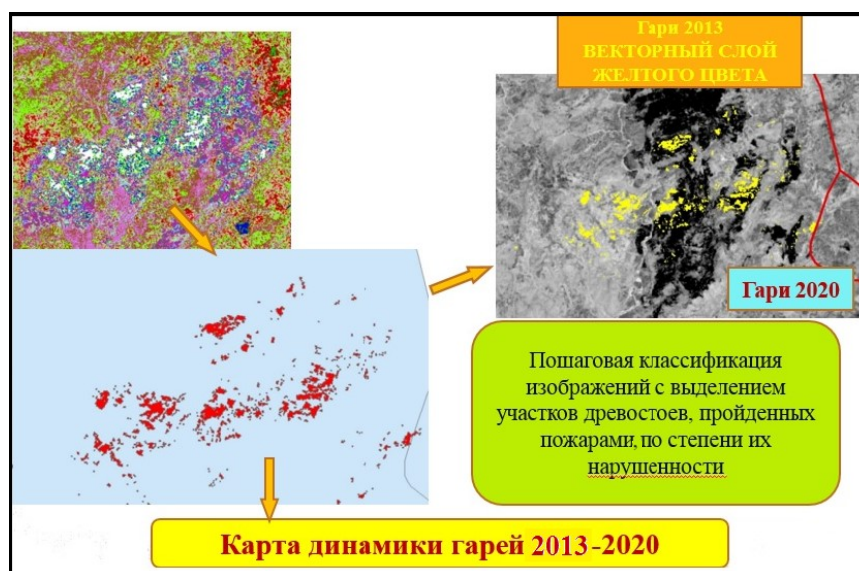


Рис. 5. Тематическое картографирование гарей за разные годы

Разделение древостоев на гарях по разной степени повреждения – от слабой до сильной (классы гарей – 1,2 и 3) и уточнение их площади на исследуемой территории также проводилось с применением неуправляемой классификации ISODATA. Для этого на основе привлеченных данных полевых исследований, существующих карт местности и лесоустроительных

материалов с использованием метода экспертной оценки был сформирован итоговый растровый слой лесных гарей на территории мухафаза Латакия (САР), состоящий из трех классов растительного покрова (Воробьев и др., 2012) разной степени нарушенности лесными пожарами, для 2020 г. (рис. 6). По такому же принципу проводился анализ разделения степени повреждения древостоев от пожаров за другие годы.

Растровые слои гарей, включающие тематические классы гари (красный цвет) и классы нарушенности (по карте 2020 г., рис. 4), были конвертированы в векторный (shape) формат в программном комплексе ENVI-5.0. Дальнейшая работа по анализу площади гарей была проведена в пакете ArcGIS-10.3. Валидация вновь полученных тематических карт гарей была выполнена с использованием официальных данных о горимости лесов за пожароопасный период 2007, 2013, 2015-2020 гг. Пошаговая оценка точности классификации проводилась на основе расчета коэффициентов матрицы различий (Confusion Matrix): коэффициента общей точности классификации и коэффициента Каппа (Kappa Index), которые наиболее используемы для этих целей в современной научной литературе.

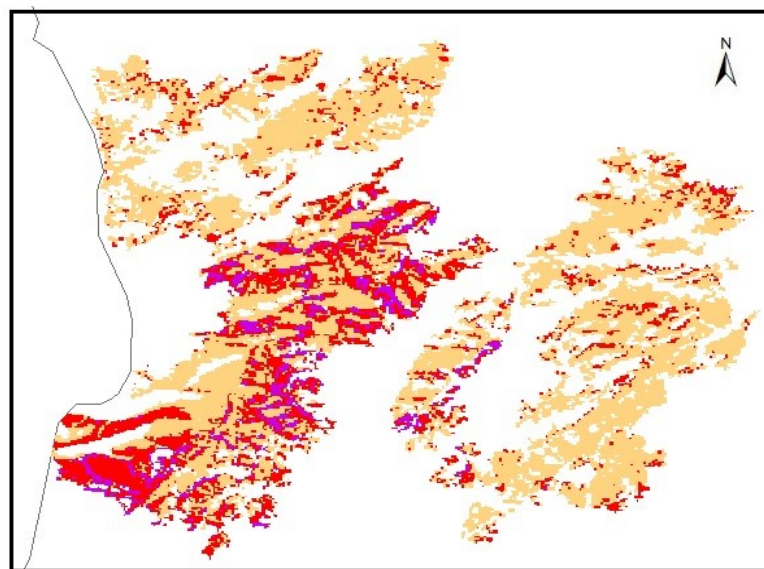


Рис. 6. Фрагмент тематического слоя «Гари 2020» на территории мухафаза Латакия (САР), содержащий три класса наземного покрова по степени поражения огнем (нет легенды)

Результаты и обсуждение

В результате классификации масок лесных пожаров в программе ENVI-5.0 с их последующим обобщением и совмещением близких по спектральным значениям классов в программном пакете ArcGIS 10.3 получена объективная карта распределения лесных гарей на исследуемой территории за исследуемые годы (рис. 7). В целом по результатам исследования общая площадь гари в 2007, 2013, 2015-2020 гг. на территории мухафаза Латакия составила около 23911,1 га (рис. 8), что превышает официальные данные (табл. 2).

Анализ распределения лесных гарей на исследуемой территории показал, что основная часть площади лесных пожаров 2020 г. (15471,3 га, или 64,7 %) пришлась на хвойные насаждения в горных районах мухафаза Латакия (САР). Аналогичная ситуация ранее имела место в пожароопасный сезон 2019 г., когда повторно выгорели сосновые насаждения в центральной и северо-западной частях САР. Стоит отметить, что в течение исследуемого периода некоторые лесные участки были сожжены более одного раза. Анализ последствий таких нарушений,

безусловно, требует разработки детального плана по предотвращению и борьбы с лесными пожарами на этих участках.

Таблица 2. Распределение пожаров на территории мухафаза Латакия

№	Год	Площадь	
		га	%
1	2007	2548,2	10,66
2	2013	2223,3	9,30
3	2015	1243,62	5,20
4	2016	460	1,92
5	2017	357,2	1,49
6	2018	303,2	1,27
7	2019	1304,3	5,45
8	2020	15471,3	64,70
Итого		23911,12	100,0

По степени повреждения лесного покрова от пожаров (на примере 2020 г.) площади гарей распределились следующим образом: первая степень (слабая) – 8693,21 га, вторая степень (средняя) – 4762,97 га и третья степень (сильная) – 2014,92 га (рис. 9). Причина отклонения данных нашего исследования от официальной статистики может заключаться в том, что в работе учитывались гари всех классов земель, а не только лесные массивы в пределах исследуемой территории. Средняя оценка точности тематических карт с выгоревшими лесными площадями за исследуемые годы на основе данных полевых исследований составила 0,89, а коэффициента Каппа – 0,83, что свидетельствует о соответствии между проведенной классификацией и полевыми данными.

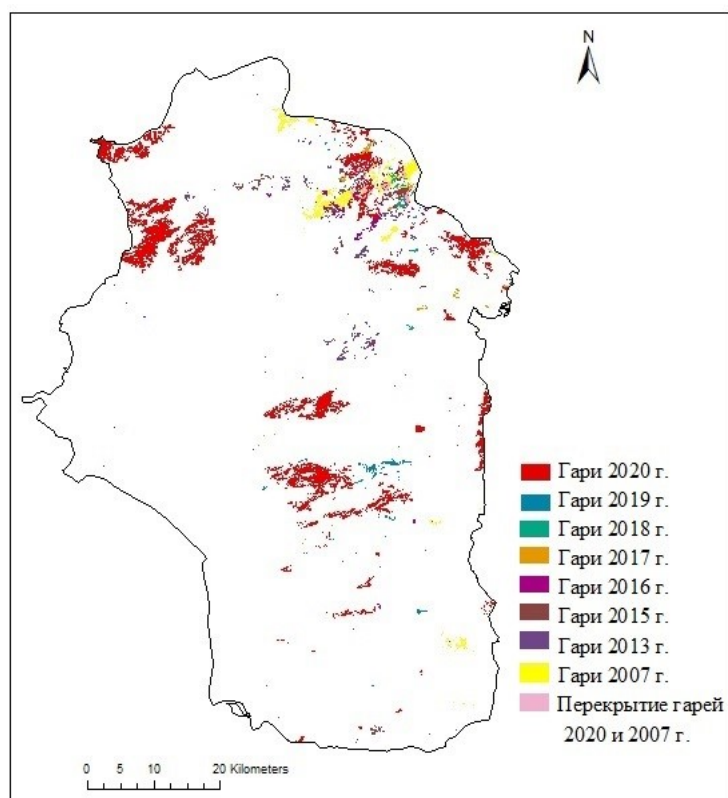


Рис. 7. Распределение гарей 2007, 2013, 2015-2020 гг. на территории САР

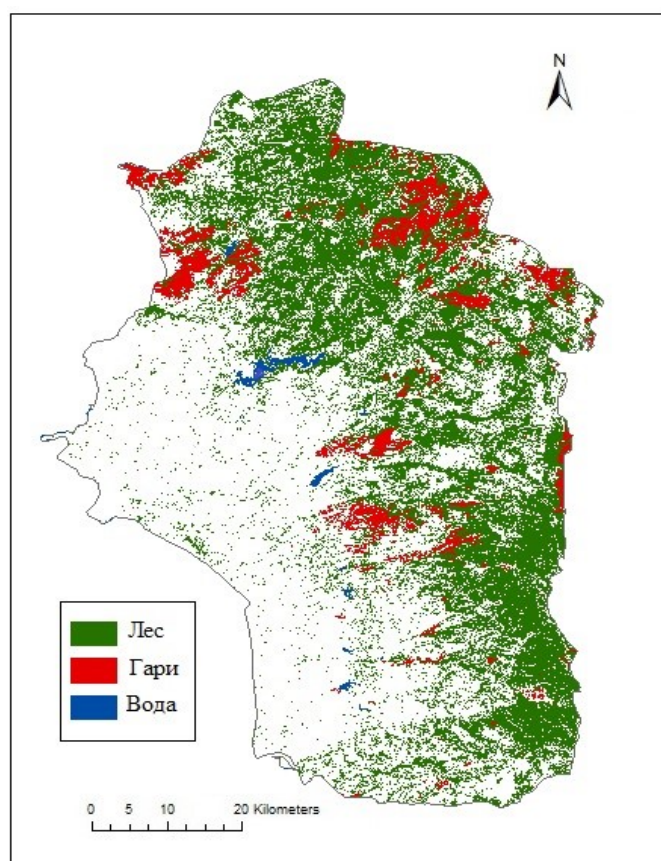


Рис. 8. Распределение площадей гарей за исследуемый период на территории мухафаза Латакия САР

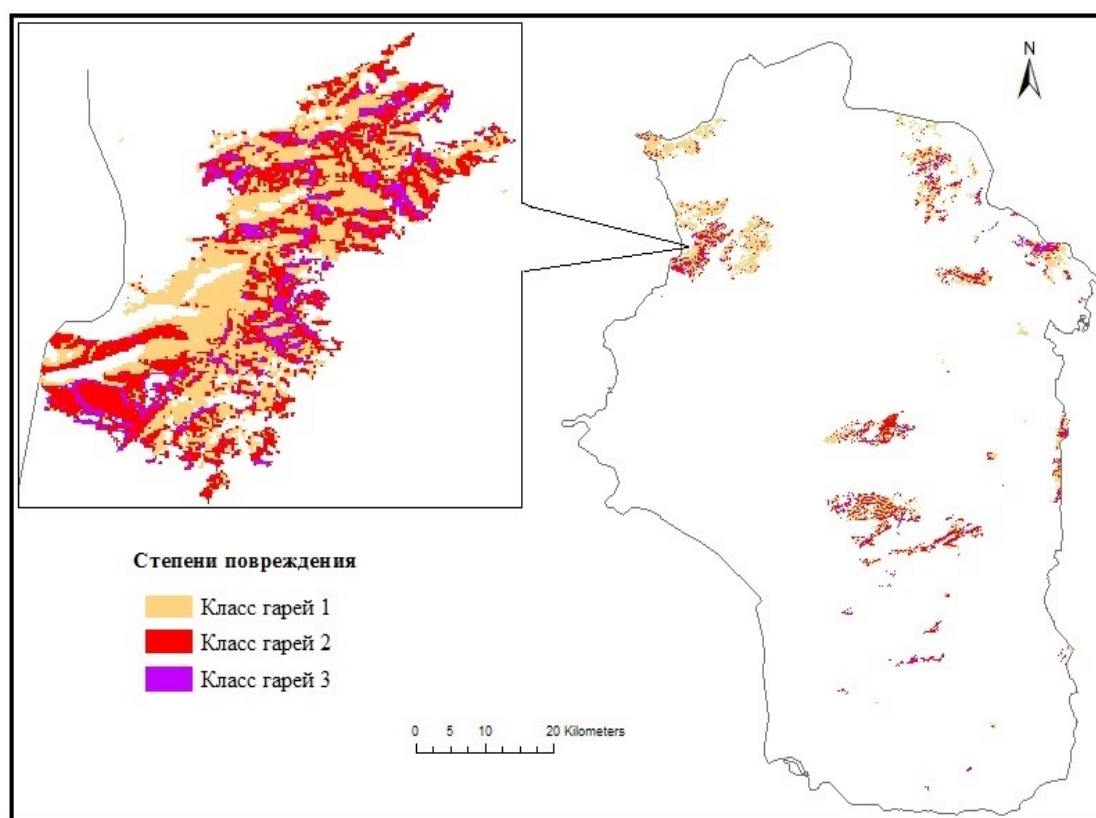


Рис. 9. Степень повреждения на лесных гарях в результате пожаров 2020 г. на территории мухафаза Латакия САР

Выводы

1. Результаты проведенного исследования показали, что обнаружение гарей и оценка степени нарушений могут быть успешно выполнены с использованием индексов дистанционного зондирования и спутниковых изображений Landsat. Индексы NBR и dNBR, используемые в этом исследовании, показали приемлемые результаты, что свидетельствует о пригодности используемых индексов.

2. Основная часть площади лесных пожаров 2020 г. (15471,3 га, или 64,7 %) пришлась на хвойные насаждения в горных районах мухафаза Латакия (САР). Часть этих площадей была подвержена пожарам в предыдущие годы. Это требует внесения коррективов в лесную политику при проведении мероприятий по борьбе с лесными пожарами и мероприятий по лесовосстановлению.

3. Дальнейший мониторинг лесных гарей в САР следует выполнять с помощью спутниковых данных Sentinel-2, обладающих более высоким пространственным разрешением.

Библиографический список

1. Али М.С., Лежнин С.А., Воробьев О.Н., Курбанов Э.А. Мониторинг растительного покрова мухафаза Латакия Сирийской Арабской Республики по снимкам Landsat // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 3 (47). С. 19–31. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.3.19>
2. Али М.С., Воробьев О.Н., Курбанов Э.А. Алгоритм «дерево решений» для классификации лесов Сирийской Арабской Республики по снимку SENTINEL-2 // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2020. № 1 (45). С. 5–30. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.1.5
3. Атлас Мира. Азия - географический атлас. <http://world-karta.ru/syria-map.html>
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и LandsatTM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 2. С. 343–351.
5. 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.
6. Воробьев О.Н. Курбанов Э.А. Дистанционный мониторинг восстановительной динамики растительности на гарях Марийского лесного Заволжья // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. № 2 (14). С. 124–134.
7. Кашницкий А.В. Метод автоматического детектирования повреждений растительного покрова природными пожарами по данным спутников серий Landsat и Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 6. С. 29–38. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-29-38
8. Курбанов Э.А., Нуреева Т.В., Воробьев О.Н., Губаев А.В., Лежнин С.А., Мифтахов Т. Ф. и др. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье // Вестник МарГТУ. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет. 2011. № 3. С.17–24.
9. Стыценко В.Ф., Барталев С.А., Иванова А.А., Лупян Е.А., Сычуглов И.Г. Возможности оценки площадей лесных пожаров в регионах России на основе данных спутникового детектирования активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: ИКИ РАН. 2016. Т. 13, № 6. С. 289–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-289-298
10. Alencar A., Shimbo J.Z., Lenti F., Marques C.B., Zimbres B., Rosa M., Arruda V., Castro I., Ribeiro J.P.F.M., Varela V., et al. Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, Is. 6. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>
11. Bright B.C., Hudak A.T., Kennedy R.E., Braaten J.D., Henareh K.A. Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three Western North American Forest Types // Fire Ecology. 2019. Vol. 15, No. 8. <https://doi.org/10.1186/s42408-018-0021-9>
12. Chuvienco E., Mouillot F., Van Der Werf G.R., San Miguel J., Tanasse M., Koutsias, N., et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol. 225. P. 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>

13. Fang L., Yang J., Zu, J., Li G., Zhang J. Quantifying influences and relative importance of fire weather, topography, and vegetation on fire size and fire severity in a Chinese boreal forest landscape // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 356. P. 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.01.011>
14. Filippini F. BAIS2: Burned area index for Sentinel-2 // *Proceedings*. 2018. Vol. 2, No. 364. P. 1-7. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177>
15. Frazier R.J., Coops N.C., Wulder M.A., Hermosilla T., White J.C. Analysing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series // *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 205. P. 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.007>
16. Giglio L., Boschetti L., Roy D.P., Humber M.L., Justice C.O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 217. P. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
17. García-Llamas P., Suárez-Seoane S., Fernández-Guisuraga J. M., Fernández-García V., Fernández-Manso A., Quintano C., Taboada A., Marcos E., Calvo L. Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems // *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*. 2019. Vol. 80. P. 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.006>
18. Gholamrezaie H., Hasanlou M., Amani M., Mirmazloumi S.M. Automatic mapping of burned areas using Landsat 8 time series images in Google Earth Engine: A case study from Iran / *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(24). No. 6376. <https://doi.org/10.3390/rs14246376>
19. Gómez I., Martín P.M. Prototyping an artificial neural network for burned area mapping on a regional scale in Mediterranean areas using MODIS images // *International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2011. Vol. 13. P. 741–752. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.05.002>
20. Hu Y., Hu Y. Land cover changes and their driving mechanisms in Central Asia from 2001 to 2017 supported by Google Earth Engine // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11(5), No. 554. <https://doi.org/10.3390/rs11050554>
21. Hussain A., Mowaffak D., Yousef V. National report on the biological diversity of genetic resources for food and agriculture in the Syrian Arab Republic. Damascus. 2016. 212 p.
22. Katagis T., Gitas I. Z. Accuracy estimation of two global burned area products at national scale // *FORECO 2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 932. P. 1–10. DOI 10.1088/1755-1315/932/1/012001
23. Key C.H., Benson N.C. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the normalized burn ratio. In *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*; USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins: Denver, CO, USA, 2006. Pp. 305–325.
24. 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. 2005. Pp. 29–39.
25. Kurbanov E., Vorobev O., Lezhnin S., Sha J., Wang J., Li X., Cole J., Dergunov D., Wang Y. Remote sensing of forest burnt area, burn severity, and post-fire recovery: a review // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, No. 19. 4714. <https://doi.org/10.3390/rs14194714>
26. Lan Y., Wang J., Hu W., Kurbanov E., Cole J., Sha J., Jiao Y., Zhou J. Spatial pattern prediction of forest wildfire susceptibility in Central Yunnan Province, China based on multivariate data // *Natural Hazards*. 2022, 116, 565–586 <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05689-x>
27. Lattakia agriculture directorate. Forest Fire Management Plan / 2018 / Lattakia. 2018. P. 1– 48.
28. Liu S., Zheng Y., Dalponte M., Tong X. A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI Data // *European Journal of Remote Sensing*. 2020. Vol. 53. P.104–112. <http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
29. Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m resolution Global annual burned area mapping based on Landsat images and Google Earth Engine // *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11. Is. 5. No 489. <https://doi.org/10.3390/rs11050489>
30. Malambo L., Heatwole C.D. Automated training sample definition for seasonal burned area mapping // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. Vol. 160. P. 107–123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.026>
31. Mallinis G., Mitsopoulos I., Chrysafi I. Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece // *GIScience and Remote Sens*. 2018. Vol. 55. P. 1–18. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1354803>
32. Boschetti M., Stroppiana D., Brivio P.A. Mapping burned areas in a Mediterranean environment using soft integration of spectral indices from high-resolution satellite images // *Earth Interactions*. 2010. Vol. 14, No. 17. Pp. 1-20. <https://doi.org/10.1175/2010EI349.1>
33. Nasery S., Kalkan K. Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The Case of Karabağlar District, İzmir / Turkey // *Turkish Journal of Geosciences*. 2020. Vol. 1, No. 2. Pp. 72–77. <https://dergipark.org.tr/en/pub/turkgeo>
34. Ngadze F., Mpakairi K.S., Kavhu B. Maremba M. S. Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogeneous savannah landscape // *PLoS ONE*. 2020. 15(5): e0232962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232962>

35. Oliveira S., Felix F., Nunes A., Lourenço L., Laneve G., Sebastian-Lopez A. Mapping wildfire vulnerability in Mediterranean Europe. Testing a stepwise approach for operational purposes // *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 206. Pp.158–169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.003>
36. Pereira P., Francos M., Brevik E. C., Ubeda X., Bogunovic I. Post-fire soil management // *Current Opinion in Environmental Science and Health*. 2018. Vol. 5. P. 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.002>
37. Quintero N., Viedma O., Urbieto I. R., Moreno J. M. Assessing landscape fire hazard by multitemporal automatic classification of Landsat time series using the Google Earth Engine in West-Central Spain // *Forests*. 2019. Vol.10. P.1–30. <https://doi.org/10.3390/f10060518>
38. Roteta E., Bastarrika A., Padilla M., Storm T., Chuvieco E. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 222. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.011>
39. Roy D. P., Huang H., Boschetti L., Giglio L., Yan L., Zhang H. H., Li Z. Landsat-8 and Sentinel-2 burned area mapping—a combined sensor multi-temporal change detection approach // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 231. No. 111254. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111254>
40. Sachdeva S., Bhatia T., Verma A. K. GIS-based evolutionary optimized gradient boosted decision trees for forest fire susceptibility mapping // *Natural Hazards*. 2018. Vol. 92. P. 1399–1418. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-018-3256-5>
41. Soverel N.O., Perrakis D.D.B., Coops N.C. Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada // *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114, No. 9. P. 1896–1909. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.03.013>
42. Teodoro A., Amaral A. A statistical and spatial analysis of Portuguese forest fires in summer 2016 considering Landsat 8 and Sentinel 2A data // *Environments*. 2019. Vol. 6. G. 36. <https://doi.org/10.3390/environments6030036>
43. Venkatesh K., Preethi K., Ramesh H. Evaluating the effects of forest fire on water balance using fire susceptibility maps // *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 110, No.105856. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105856>
44. Veraverbeke S., Lhermitte S., Verstraeten W.W., Goossens R. Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat thematic mapper // *International journal of remote sensing*. 2011. Vol. 32(12). P. 3521–3537. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161003752430>
45. Zema D.A., Nunes J.P., Lucas-Borja M.E. Improvement of seasonal runoff and soil loss predictions by the MMF (Morgan-Morgan-Finney) model after wildfire and soil treatment in Mediterranean forest ecosystem // *CATENA*. 2020. Vol. 188, No. 104415. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104415>

References

1. Ali M.S., Lezhnin S.A., Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A. Monitoring rastitel'nogo pokrova mukhafa-za Latakiya Siriiskoi Arabskoi Respubliki po snimkam Landsat (Monitoring of vegetation cover in Latakia governorate of the Syrian Arab Republic using Landsat images). *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. 2020. No. 3 (47). Pp. 19–31. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.3.19>
2. Ali M.S., Vorob'ev O.N., Kurbanov E.A. Algoritm «derevo reshenii» dlya klassifikatsii lesov Si-riiskoi Arabskoi Respubliki po snimku SENTINEL-2 (Decision tree algorithm for classifying forests of the Syrian Arab Republic using SENTINEL-2 imagery). *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. 2020. No. 1 (45). Pp. 5–30. DOI: [10.25686/2306-2827.2020.1.5](https://doi.org/10.25686/2306-2827.2020.1.5)
3. Atlas Mira. Aziya - geograficheskii atlas (Atlas of the World. Asia - geographical atlas). <http://world-karta.ru/syria-map.html>
4. Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Lupyan E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V. Otsenka ploshcha-di pozharov na osnove kompleksirovaniya sputnikovykh dannykh razlichnogo prostranstvennogo raz-resheniya MODIS i LandsatTM/ETM+ (Assessment of the area of fires based on the integration of satellite data of various spatial resolutions MODIS and LandsatTM/ETM+). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2012. Vol. 9, No. 2. Pp. 343–351.
5. Vorob'ev O. N., Kurbanov E. A., Gubaev A. V., Lezhnin S. A., Polevshchikova Yu. A. Distantionnyi monitoring lesnykh garei v Mariiskom Zavolzh'e (Remote monitoring of forest burnt areas in the Mari Trans-Volga region). *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*. 2012. No 1. Pp. 12–22.
6. Vorob'ev O.N. Kurbanov E.A. Distantionnyi monitoring vosstanovitel'noi dinamiki rastitel'-nosti na garyakh Mariiskogo lesnogo Zavolzh'ya (Remote monitoring of the restoration dynamics of vegetation in the burned-out areas of the Mari forest Trans-Volga region). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2017. No. 2 (14). Pp. 124–134.
7. Kashnitskii A.V. Metod avtomaticheskogo detektirovaniya govrezhdenii rastitel'nogo pokrova pri-rodnyimi pozharemi po dannym sputnikov serii Landsat i Sentinel-2 (Method for automatic detection of vegetation damage caused by

- natural fires using data from Landsat and Sentinel-2 satellites). *Sovremennye problemy di-stantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2022. Vol. 19, No. 6. Pp. 29–38. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-6-29-38
8. Kurbanov E.A., Nureeva T.V., Vorob'ev O.N., Gubaev A.V., Lezhnin S.A., Miftakhov T. F. i dr. Di-stantsionnyi monitoring dinamiki narushenii lesnogo pokrova, lesovozobnovleniya i lesovossta-novleniya v Mariiskom Zavolzh'e (Remote monitoring of the dynamics of forest cover disturbances, reforestation and reforestation in the Mari Trans-Volga region). *Vestnik MarGTU*. Ioshkar-Ola: Mariiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. 2011. No. 3. Pp.17–24.
 9. Stytsenko V.F., Bartalev S.A., Ivanova A.A., Lupyan E.A., Sychugov I.G. Vozmozhnosti otsenki ploshcha-dei lesnykh pozharov v regionakh Rossii na osnove dannykh sputnikovogo detektirovaniya aktivnogo gorenii (Possibility of estimating the areas of forest fires in Russian regions based on satellite detection of active burning data). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. M.: IKI RAN. 2016. Vol. 13, No. 6. Pp. 289–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-289-298
 10. Alencar A., Shimbo J.Z., Lenti F., Marques C.B., Zimbres B., Rosa M., Arruda V., Castro I., Ribeiro J.P.F.M., Varela V., et al. Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, Is. 6. <https://doi.org/10.3390/rs12060924>
 11. Bright B.C., Hudak A.T., Kennedy R.E., Braaten J.D., Henareh K.A. Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three Western North American Forest Types. *Fire Ecology*. 2019. Vol. 15, No. 8. <https://doi.org/10.1186/s42408-018-0021-9>
 12. Chuvieco E., Mouillot F., Van Der Werf G.R., San Miguel J., Tanasse M., Koutsias, N., et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 225. P. 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
 13. Fang L., Yang J., Zu, J., Li G., Zhang J. Quantifying influences and relative importance of fire weather, topography, and vegetation on fire size and fire severity in a Chinese boreal forest landscape. *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 356. P. 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.01.011>
 14. Filipponi F. BAIS2: Burned area index for Sentinel-2. *Proceedings*. 2018. Vol. 2, No. 364. P. 1-7. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177>
 15. Frazier R.J., Coops N.C., Wulder M.A., Hermosilla T., White J.C. Analysing spatial and temporal variability in short-term rates of post-fire vegetation return from Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 205. P. 32–45. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.007>
 16. Giglio L., Boschetti L., Roy D.P., Humber M.L., Justice C.O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 217. P. 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>
 17. García-Llamas P., Suárez-Seoane S., Fernández-Guisuraga J. M., Fernández-García V., Fernández-Manso A., Quintano C., Taboada A., Marcos E., Calvo L. Evaluation and comparison of Landsat 8, Sentinel-2 and Deimos-1 remote sensing indices for assessing burn severity in Mediterranean fire-prone ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*. 2019. Vol. 80. P. 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.006>
 18. Gholamrezaie H., Hasanlou M., Amani M., Mirmazloumi S.M. Automatic mapping of burned areas using Landsat 8 time series images in Google Earth Engine: A case study from Iran. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(24). No. 6376. <https://doi.org/10.3390/rs14246376>
 19. Gómez I., Martín P.M. Prototyping an artificial neural network for burned area mapping on a regional scale in Mediterranean areas using MODIS images. *International journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2011. Vol. 13. P. 741–752. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.05.002>
 20. Hu Y., Hu Y. Land cover changes and their driving mechanisms in Central Asia from 2001 to 2017 supported by Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11(5), No. 554. <https://doi.org/10.3390/rs11050554>
 21. Hussain A., Mowaffak D., Yousef V. National report on the biological diversity of genetic resources for food and agriculture in the Syrian Arab Republic. Damascus. 2016. 212 p.
 22. Katagis T., Gitas I. Z. Accuracy estimation of two global burned area products at national scale. *FORECO 2021 IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 932. P. 1–10. DOI 10.1088/1755-1315/932/1/012001
 23. Key C.H., Benson N.C. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the normalized burn ratio. In FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system; USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins: Denver, CO, USA, 2006. Pp. 305–325.
 24. 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. 2005. Pp. 29–39.
 25. Kurbanov E., Vorobev O., Lezhnin S., Sha J., Wang J., Li X., Cole J., Dergunov D., Wang Y. Remote sensing of forest burnt area, burn severity, and post-fire recovery: a review. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, No. 19. 4714. <https://doi.org/10.3390/rs14194714>
 26. Lan Y., Wang J., Hu W., Kurbanov E., Cole J., Sha J., Jiao Y., Zhou J. Spatial pattern prediction of forest wildfire susceptibility in Central Yunnan Province, China based on multivariate data. *Natural Hazards*. 2022, 116, 565-586 <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05689-x>

27. Lattakia agriculture directorate. Forest Fire Management Plan / 2018 / Lattakia. 2018. P. 1–48.
28. Liu S., Zheng Y., Dalponte M., Tong X. A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI Data. *European Journal of Remote Sensing*. 2020. Vol. 53. P.104–112. <http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
29. Long T., Zhang Z., He G., Jiao W., Tang C., Wu B., Zhang X., Wang G., Yin R. 30 m resolution Global annual burned area mapping based on Landsat images and Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 2019. Vol. 11, Is. 5. No 489. <https://doi.org/10.3390/rs11050489>
30. Malambo L., Heatwole C.D. Automated training sample definition for seasonal burned area mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2020. Vol. 160. P. 107–123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.026>
31. Mallinis G., Mitsopoulos I., Chrysafi I. Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIScience and Remote Sens.* 2018. Vol. 55. P. 1–18. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1354803>
32. Boschetti M., Stroppiana D., Brivio P.A. Mapping burned areas in a Mediterranean environment using soft integration of spectral indices from high-resolution satellite images. *Earth Interactions*. 2010. Vol. 14, No. 17. Pp. 1–20. <https://doi.org/10.1175/2010EI349.1>
33. Nasery S., Kalkan K. Burn area detection and burn severity assessment using Sentinel 2 MSI data: The Case of Karabağlar District, İzmir, Turkey. *Turkish Journal of Geosciences*. 2020. Vol. 1, No. 2. Pp. 72–77. <https://dergipark.org.tr/en/pub/turkgeo>
34. Ngadze F., Mpakairi K.S., Kavhu B., Maremba M. S. Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogenous savannah landscape. *PLoS ONE*. 2020. 15(5): e0232962. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232962>
35. Oliveira S., Felix F., Nunes A., Lourenço L., Laneve G., Sebastian-Lopez A. Mapping wildfire vulnerability in Mediterranean Europe. Testing a stepwise approach for operational purposes. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 206. Pp.158–169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.003>
36. Pereira P., Francos M., Brevik E. C., Ubeda X., Bogunovic I. Post-fire soil management. *Current Opinion in Environmental Science and Health*. 2018. Vol. 5. P. 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.002>
37. Quintero N., Viedma O., Urbieto I. R., Moreno J. M. Assessing landscape fire hazard by multitemporal automatic classification of Landsat time series using the Google Earth Engine in West-Central Spain. *Forests*. 2019. Vol.10. P.1–30. <https://doi.org/10.3390/f10060518>
38. Roteta E., Bastarrika A., Padilla M., Storm T., Chuvieco E. Development of a Sentinel-2 burned area algorithm: Generation of a small fire database for sub-Saharan Africa. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 222. P. 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.011>
39. Roy D. P., Huang H., Boschetti L., Giglio L., Yan L., Zhang H. H., Li Z. Landsat-8 and Sentinel-2 burned area mapping—a combined sensor multi-temporal change detection approach. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 231. No. 111254. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111254>
40. Sachdeva S., Bhatia T., Verma A. K. GIS-based evolutionary optimized gradient boosted decision trees for forest fire susceptibility mapping. *Natural Hazards*. 2018. Vol. 92. P. 1399–1418. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-018-3256-5>
41. Soverel N.O., Perrakis D.D.B., Coops N.C. Estimating burn severity from Landsat dNBR and RdNBR indices across western Canada. *Remote Sensing of Environment*. 2010. Vol. 114, No. 9. P. 1896–1909. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.03.013>
42. Teodoro A., Amaral A. A statistical and spatial analysis of Portuguese forest fires in summer 2016 considering Landsat 8 and Sentinel 2A data. *Environments*. 2019. Vol. 6. G. 36. <https://doi.org/10.3390/environments6030036>
43. Venkatesh K., Preethi K., Ramesh H. Evaluating the effects of forest fire on water balance using fire susceptibility maps. *Ecological Indicators*. 2020. Vol. 110, No.105856. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105856>
44. Veraverbeke S., Lhermitte S., Verstraeten W.W., Goossens R. Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat thematic mapper. *International journal of remote sensing*. 2011. Vol. 32(12). P. 3521–3537. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161003752430>
45. Zema D.A., Nunes J.P., Lucas-Borja M.E. Improvement of seasonal runoff and soil loss predictions by the MMF (Morgan-Morgan-Finney) model after wildfire and soil treatment in Mediterranean forest ecosystem. *CATENA*. 2020. Vol. 188, No. 104415. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104415>