



DOI: [10.71167/uaceg.2025.58S107](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.58S107)

Получена: 06.08.2025 г.

Приета: 27.08.2025 г.

СЪВРЕМЕННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ИНТЕЛИГЕНТЕН МОНИТОРИНГ НА ГОРИТЕ

С. Стоянова¹

Ключови думи: съвременни технологии за мониторинг, изкуствен интелект, горски ресурси, горски пожари, спектрални индекси

РЕЗЮМЕ

Съвременните технологии за интелигентен мониторинг играят ключова роля в устойчивото управление на горските ресурси и опазването на биологичното разнообразие. Спътниковите изображения с подходяща разделителна способност за изследване на горите от различни видове платформи, комбинирани със спектрални индекси (вегетационни, почвени, за горски пожари и др.), позволяват широкомащабно наблюдение на състоянието на горите, промените в земното покритие, пораженията в резултат на пожари и антропогенна дейност. Разработката включва кратък преглед на развитието на технологиите за интелигентен мониторинг и техните приложения за изследване на горски територии, възможностите и бъдещите насоки за вземане на решения от страна на институциите в горския сектор. Разгледани са модели за изследване на горските територии, засегнати от пожари чрез използване на спътникови изображения от Sentinel-2 в среда на QGIS и Google Earth Engine. Във връзка с климатичните промени, както и с нарастващите нужди от автоматизация, прецизни анализи и обработка на големи обеми геопространствени данни, разглеждането на такива модели има все по-важна роля.

¹ Станимира Стоянова, ас. инж., кат. „Лесоустройство и управление“, ЛТУ, бул. „Климент Охридски“ № 10, 1797 София, e-mail: stoyanova.stanimira@ltu.bg

1. Въведение

В последните десетилетия под натиска на климатичните промени и интензивната човешка дейност опазването на горските ресурси играе важна роля. Горите, като природен ресурс, са от изключително значение за поддържането на глобалното екологично равновесие и биологичното разнообразие. Нарастващият обем информация и правилното ѝ управление изискват необходимостта от прецизни, навременни и надеждни методи за мониторинг на горските екосистеми, знания за събраните данни и адекватна оценка. В този смисъл целта на разработката е анализ на развитието на технологиите за наблюдение на горите, съвременните технологии за проследяване на пожари и интелигентен мониторинг в реално време с помощта на спътникови изображения и вегетационни индекси. Приложени са решения за анализ на състоянието на горите и устойчивото им управление с възможностите на изкуствения интелект и машинно обучение.

2. Исторически преглед на технологиите за интелигентен мониторинг на горите

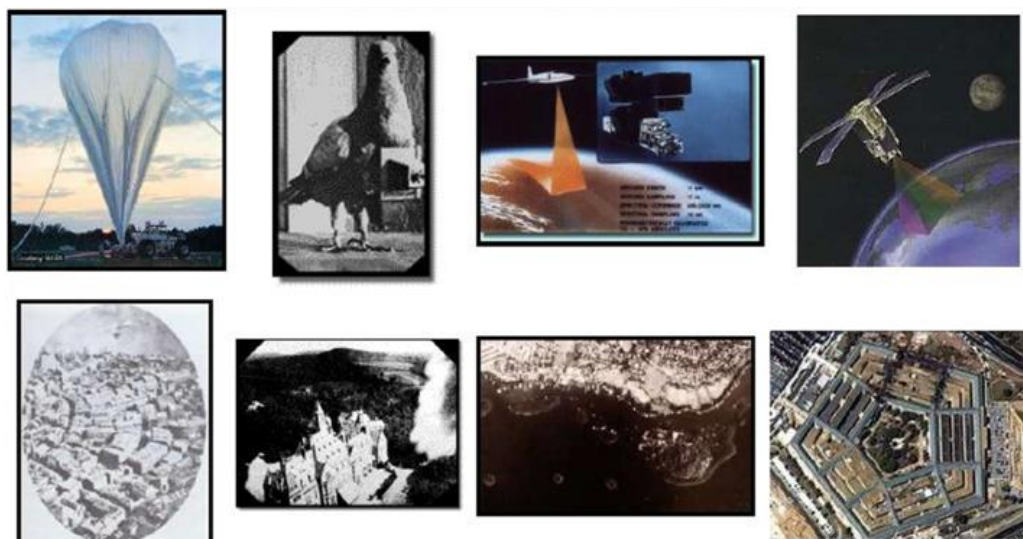
2.1. Фотограметрия и дистанционни методи

В началото на ХХ-и век фотограметричните методи бележат бързо развитие в Европа, което продължава и през втората половина на века, към края на който инструментално-визуалното дешифриране на аерофотоснимки и аналоговото стереокартиране се изместват от методите на цифровата стереофотограметрия, основаваща се на съвременните компютърни технологии [1]. Въздушната фотограметрия е била използвана за правителствени цели, а по-късно за топографско картографиране, за проучване на почвите, геоложки карти, горски проучвания и земеделска статистика [2]. Въздушната фотограметрия е ценен научен метод и приложен подход за значително улесняване на мониторинга на горите, картиране на горски територии и дешифриране на горските насаждения. Използват се аналогови стереоапарати за определяне на границите на горите, създават се карти в труднодостъпни и планински територии. С масовото навлизане на цифровите фотограметрични методи и технологии започва създаване на цифрови модели на горските територии, цифров анализ на изображенията и по-лесно актуализиране на лесоустройствени планове и карти. Първоначално въздушната фотограметрия използва черно-бели снимки за горско дешифриране, но с напредване на технологиите се използват аерокосмически цветни, многоканални, хиперспектрални изображения. Основните разлики на фотограметричните технологии са в използването на геометрични модели на формиране на изображенията и методите за отстраняване на систематичните грешки. Обобщеният анализ на фотограметричните технологии е изложен в табл. 1.

След стартиране на първата спътникова програма, въздушните снимки започват да се допълват от спътникови изображения, което разширява възможностите за наблюдение. С развитието на новите технологии и методи за анализ на земната повърхност и използването на различни части от електромагнитния спектър се въвежда терминът дистанционни методи.

Таблица 1. Характеристики на фотограметричните технологии

Параметър	Аналогова	Аналитична	Цифрова
Апаратура	Аналогови стереокартировъчни апарати, стереоплотер, аналогови въздушни камери	Стерекомпаратор или монокомпаратор, Компютър и софтуер или регистриращо устройство, Аналитичен стереокартировъчен апарат	Дигитални метрични камери, Фотограметрични сенсери, Дигитални фотограметрични работни станции
Предназначение	Аналогово стереокартиране (измерване), създаване на ортогонална проекция	Представя връзките между точките от предметното пространство	Получаване на растерни данни
Краен продукт	Създаване и обновяване на топографски и кадастрални карти в различни мащаби, аналогова аеротриангулация	Топографска карта, но в цифров формат, DEM (цифрова карта на изображението) или цифрова карта	Digital Elevation Model (DEM), цифрови карти, цифрови ортофото, съхранени в компютъра
Изображения	Аналогови снимки	Аналогови снимки	Цифрови изображения или сканирани фотоснимки



Фиг. 1. Историята на дистанционното наблюдение на Земята [4]

Според [3] заради възможността за придобиване на данни през определен период от време за една и съща територия спътниковите сензори притежават потенциал за откриване, идентифициране и отразяване на промени в горските територии, които са необходими за анализ на състоянието и управлението на горските екосистеми. Отразяването на разнообразието на дървесните видове и промените в границите на горските насаждения става възможно с помощта на многоканалните изображения. Стартирането на програмата Landsat-1 (ERTS-1) през 1972 г. бележи началото на спътниковите дистанционни наблюдения за следене на възобновяемите ресурси. Много

от технологичните процеси в горското стопанство изискват бърза, точна и адекватна оценка. Мониторингът на горите от дистанционни методи се основава на непрекъснатия поток от данни, даващи информация за откриване, идентифициране и картографиране на промените в горската растителност и горските незалесени територии. Програмата за наблюдение разчита на спътниковите изображения, за да се откриват промени в горската покривка, и може да се извършва с по-малък разход на време и усилия в сравнение с наземните измервания. Надеждността на дистанционните наблюдения се считат за по-ефективни, когато са проверени чрез пробни площи, за които са извършени теренни проучвания от горски специалисти. Така се повишава достоверността и правилното тълкуване на дистанционно получените данни и правилният избор на действия по установените промени. Развитието на дистанционните изследвания в исторически план е показано на фиг. 1.

В табл. 2 е показана хронологията на въвеждане в експлоатация на големите спътникови платформи, работещи в оптичния и радарен спектър и осигуряващи събирането на информация за природните ресурси [5].

Таблица 2. Големи спътникови платформи в периода 1972 – 2025 г.

Спътник / Мисия	Организация	Спектрален обхват	Дата на изстрелване	Роля в горския мониторинг
Landsat 1–9	NASA / USGS	Multispectral (VIS–NIR–SWIR)	1972 (L1), 2021 (L9)	Пионер в дългосрочното наблюдение на земното покритие
SPOT (1–7)	CNES (Франция)	VIS–NIR–SWIR	1986 – 2024	Средна разделителна способност, мониторинг на растителност
MODIS (Terra/Aqua)	NASA	VIS–NIR–SWIR–TIR	1999 (Terra), 2002 (Aqua)	Широкомашабен мониторинг (NDVI, пожари, динамика)
Sentinel-2A / 2B	ESA (Copernicus)	13 multispectral bands (VIS–SWIR)	2015, 2017	Висока разделителна способност (10/20/60 m) за вегетация, горски пожари, промени
PlanetScope	Planet Labs (САЩ)	RGB + NIR (4 ленти)	от 2016	Много висока честота на наблюдение (ежедневно)
WorldView (2–4)	Maxar (САЩ)	Panchromatic + Multispectral	2007 – 2016	Много висока пространствена разделителна способност (< 0,5 m)
PRISMA	ASI (Италия)	Hyperspectral (400–2500 nm)	2019	Оценка на видово разнообразие, химични свойства на растителността
Radarsat-1 / 2	CSA (Канада)	C-band	1995 / 2007	Обзор на снежно/залесено покритие
Sentinel-1A / 1B	ESA (Copernicus)	C-band	2014 / 2016	Системен SAR мониторинг при всякакви метеорологични условия
SAOCOM 1A / 1B	CONAE (Аржентина)	L-band	2018 / 2020	SAR за растителност и почвена влага
NISAR (предстояща)	NASA + ISRO	Dual L- and S-band	Очаква се през 2025	Специализирана мисия за наблюдение на гори и въглероден цикъл

2.2. Географски информационни системи

С навлизането на компютърните технологии през 80-те години на миналия век започва дигиталната трансформация на мониторинга на горските територии. Географските информационни системи (ГИС) се утвърждават като основен инструмент за пространствен анализ, картографиране и вземане на решения, свързани с управлението на горските ресурси. Това развитие се обуславя от новите разработки в областта на хардуерната индустрия, свързани с графични монитори, плотери и други периферни устройства [6].

Обемът от спътникови данни и ГИС технологиите за визуализация и интерпретация, заедно с картиране на местообитанията, служат за оценка и следене на промените в горската покривка, както и могат да предоставят модели на обезлесяването във и около защитените територии. Използването в горското стопанство на ГИС платформи позволява работа с растерни и векторни данни, визуализация и интерпретация на обектите, подобряване на качествата на изображенията и тяхното геореферирание, поддръжка на различни файлови формати, справки и заявки към съществуващи бази данни. Работата с разновременни изображения е особено полезна при разпознаване на сезоните от актуалните промени на горските обекти по спецификата на отразителните характеристики на различни типове земно покритие, горска растителност и други обекти в горските територии [6]. В табл. 3 са разгледани основните характерни особености в развитието на ГИС технологиите [7].

Таблица 3. Етапи в развитието на ГИС

Етап	Период	Описание	Характеристики
Начало	1960 – 1975	Начални изследвания	индивидуализъм main frame-базирани системи, фокусът е върху приложенията
Иновации	1975 – 1980	Експериментиране и практика	локални експерименти и опити; ГИС се поощрява от националните агенции с много дублирани усилия
Комерсиализация	1980 – 2000	Комерсиално развитие	увеличаване на разпространители и производители; технологичен скок в РС; поява на ГИС консултации
Нови изследвания	2000 – 2010	Потребителско доминиране; Състезание на производители и търговци	начална стандартизация: нарастване на ползването на РС мрежови системи, достъпни за всички хардуерни платформи, разработка на потребителски интерфейс
Глобализация и споделяне	2010 – 2020	Нови и широко достъпни технологии и приложения; Декомерсиализация	изравняване на възможностите на производителите на хардуер и софтуер; мобилни приложения 3D и 4D и online ГИС; OpenSource ГИС

„Правителствата и неправителствените организации използват ГИС за картографиране на горските територии. Информационното осигуряване в горското стопанство е в пряка зависимост от законовата и нормативна уредба у нас, както и от протичащите геоинформационни процеси, свързани с новите технологични решения за получаване, натрупване и структуриране на данни и развитието на информационната

инфраструктура за публикуване и обмен на геоданни и услуги. Общата цел на информационното осигуряване в горския сектор е подсигурирането на навременен достъп до пълни, точни и актуални данни; осъществяване на обмен на данни за вземане на управленски решения; по-добра комуникация между различните звена и външни институции; намаляване на дублирането на данни, задачи, време и усилия; бързо и ефективно обслужване на всички потребители и заинтересовани страни“ [8].

2.3. Мониторинг в реално време, внедряване на изкуствения интелект и машинното обучение и автоматизация на процесите за обработка

През последните две десетилетия мониторингът на горите навлиза в ерата на работа в реално време и непрекъснатост на данните, воден от усъвършенствано дистанционно наблюдение, облачни изчисления и непрекъсната информация. Този период е белязан от напълно автоматизирани програми, системи с отворен достъп с широко приложение, включително и в областта на горите. Съвременните спътникови системи, дистанционните и фотограметричните методи използват достиженията на най-новите научни направления, в това число и изкуствения интелект [9].

Съвременните технологии за мониторинг на горите включват:

- Спътникови данни с по-висока честота и разделителна способност: Planet Labs, Sentinel-2 и други предлагат ежедневни изображения с пространствена разделителна способност от 3 – 10 m.
- Термичните и радарните спътници позволяват мониторинг на горите дори през нощта или през облаци.
- Безпилотни летателни апарати (БЛА). Предоставят високо детайлни и локализиращи изображения и могат да бъдат внедрени бързо в труднодостъпни региони.
- Облачни платформи и API. Global Forest Watch, Google Earth Engine и Copernicus позволяват алармиране и обработка на огромни масиви от данни в реално време.
- Потребителите могат да проследяват незаконна сеч, пожари или промени в местообитанията за дни, а не за месеци.

С навлизането на изкуствения интелект (Artificial Intelligence, AI) и машинното обучение (Machine Learning, ML), приложени в развитието на мониторинга на горите, настъпва нов период, характерен с прогнозно моделиране, интеграция между цифровите и екологичните системи. В подробна статия, произтичаща от нарастващия обем литература, демонстрираща трансформиращия потенциал на AI и ML при справянето с екологичните предизвикателства, са разгледани и обобщени примери за алгоритми за машинно обучение при околната среда като петролни разливи и горски пожари, които предоставят навременна и приложима информация. По подобен начин са разгледани и управляваните от AI инструменти за откриване и управление на опасности [10]. На фиг. 2 са показани най-често срещаните ключови думи, открити в изследователската публикация за AI и ML приложения в мониторинг на околната среда и анализ на данни.

Таблица 4. Приложение на спектрални индекси за горската растителност

Област на приложение	Вегетационни индекси	Цел
Откриване на обезлесяване	NDVI, NBR, EVI	Идентифицира областите на загуба
Картографиране на щетите от пожар	NBR, NDVI	Пораженията от пожар и възстановяването след пожар
Биоразнообразие и местообитание	NDVI, EVI, SAVI	Анализира качеството на местообитанията и структурата на растителността
Въглероден мониторинг (REDD+)	NDVI, EVI	Оценка на продуктивността на гората и промените в биомасата
Здраве на гората	NDWI, NDVI, EVI	Болест или суша
Проследяване на повторно залесяване	SAVI, NDVI, EVI	Проследява растежа в зоните за възстановяване

3.1.1. Нормиран диференциален индекс на растителността (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

NDVI е един от най-често прилаганите за лесна и бърза идентификация по многоканални спътникови изображения на районите, покрити със зелена растителна покривка горски насаждения.

Прилагането на NDVI за червения и инфрачервения канал на многоканални спътникови изображения дава възможност напълно автоматизирано, за кратко време и върху обширни територии, да се получат стойности на таксационния показател пълнота на насажденията [12].

3.1.2. Индекс на растителността (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI)

SAVI е свързан с почвената покривка и компенсира влиянието на почвения фон, особено полезно при разредена растителност или оголени площи.

3.1.3. Подобрен растителен индекс (Enhanced vegetation index, EVI)

EVI е по-сложен за изчисление от NDVI, по-малко приложим е заради трудоемкостта и се влияе при корекциите на синия канал (Blue).

3.1.4. Индекс за опожарени територии (Normalized Burn Ratio, NBR)

Математическият модел на NBR е изчислен с помощта на NIR канал (отразяващ здравата растителност) и SWIR-2 канала (чувствителен към сухи или изгорели зони), осигуряват индикатор за химически промени в опожарени зони.

3.1.5. Нормиран разликов индекс за пораженията от пожар (Differenced Normalized Burn Ratio, dNBR/ Δ NBR)

Индексът dNBR отразява промяната в растителността и състоянието на терена след пожар, като измерва разликите между NBR преди и NBR след пожара.

Тази разлика показва колко е била засегната една зона, използва се от еколози, горски служби и при управления на природни бедствия. Колкото по-висока е стойността на dNBR, толкова по-интензивно е изгарянето и щетите, докато ниските стойности на dNBR означават зони с минимално изгаряне или здрава растителност.

Таблица 5. Обобщени характеристики на спектрални индекси за горската растителност

Вегетационни индекси	Формули	Параметри	Диапазон на стойностите/интерпретация
NDVI за оценка на състоянието на горската растителност	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	NIR е отражението в близката инфрачервена област; RED е отражението в червената област	от -1 до 1, като стойностите над 0,5 са показател за плътна растителност, а максималната стойност 1 съответства на най-голямо количество биомаса
SAVI модификация на NDVI, компенсира влиянието на почвата	$((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L)$	L е коефициент за корекция на яркостта на почвата, който обикновено се приема за 0,5	от -1 до +1, използва се при оскъдна растителност и оголена почва
EVI подобен на NDVI, компенсира влиянието на атмосферата	$G \times ((NIR - RED) / (NIR + C1 \times RED - C2 \times BLUE + L))$	BLUE е отражението в синята област. G: е коефициент на усилване (обикновено 2,5). C1 и C2 са коефициенти за атмосферна корекция (обикновено 6 и 7,5). L е фактор за корекция на фоновата обстановка (обикновено 1)	от -1 до 1, стойност 1 гъста и здрава растителност
NBR дистанционно наблюдение и определяне на ефектите от горски пожари	$(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$	SWIR – късо вълновата	от -1 до +1, като +1 представлява здрава растителност, -1 показва гола земя или наскоро опожарени площи.
dNBR разликата между индексите на NBR преди и след пожара	$(NBR_{pre} - NBR_{postfire})$	Преди и след пожара	< 0,10 Неизгоряла площ 0,10 – 0,26 Степен на ниско изгаряне 0,27 – 0,43 Степен на средно изгаряне 0,44 – 0,65 Степен на високо изгаряне > 0,66 Степен на много високо изгаряне (EFFIS)

3.2. Инструменти и платформи, които използват спектрални индекси

Спектралните индекси се използват в среда на ГИС за автоматизирана обработка на големи обеми от данни и създаване на карти и модели, които показват състоянието на горските територии и настъпилите промени.

Изкуственият интелект (AI) и машинното обучение (ML) се превръщат в ключови компоненти на интелигентния мониторинг на горските ресурси. Те допълват спътниковите данни за наблюдение и анализа чрез ГИС, като автоматизират обработката на големи масиви от геопространствени данни и подпомагат вземането на решения в реално време.

- Quantum GIS (QGIS) – Поддържа Python скриптове и плъгини като Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) – класификация на спътникови изображения; Random Forest, SVM и др. Може да се обучи модел за класификация на горски типове въз основа на Sentinel-2 изображения.
- Google Earth Engine (GEE) – за комбиниран анализ на спътникови данни с вградени ML инструменти.
- Global Forest Watch – GFW използва данни, които често са предварително обработени с помощта на ML – например откриване на обезлесяване, пожари, деградация на горите.
- Sentinel Hub (EO Browser) – Предоставя достъп до огромни спътникови архиви (Sentinel, Landsat, MODIS и др.). Може да се използва в комбинация с ML модели чрез Sentinel Hub API или custom scripts за индекси (NDVI, NBR и др.).

4. Област на изследване и данни

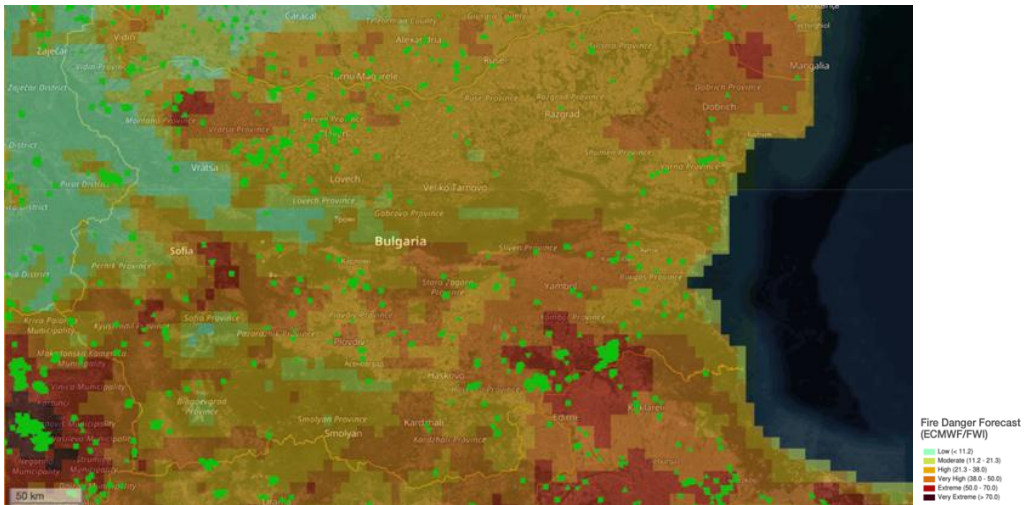
4.1. Обект на изследване

Европейската информационна система за горски пожари (EFFIS) представя класация за горските пожари в ЕС през 2024 г., като сред тях попада и България поради зачестилите брой възникнали пожари [13]. На фиг. 3 са представени пожароопасните области и действалите тогава пожари в България през юли 2024 г. Според статистиката на Изпълнителната агенция по горите (ИАГ) анализът, обхващащ периода 2010 – 2024 г., показва, че за тези 15 години в страната са възникнали 7115 горски пожара, които са обхванали 926 940 da горски територии.

Най-много пожари е имало през 2012 г., 2016 г., 2019 г. и 2024 г. Именно през 2024 г. е опожарена най-голяма площ – около 171 160 da. [14].

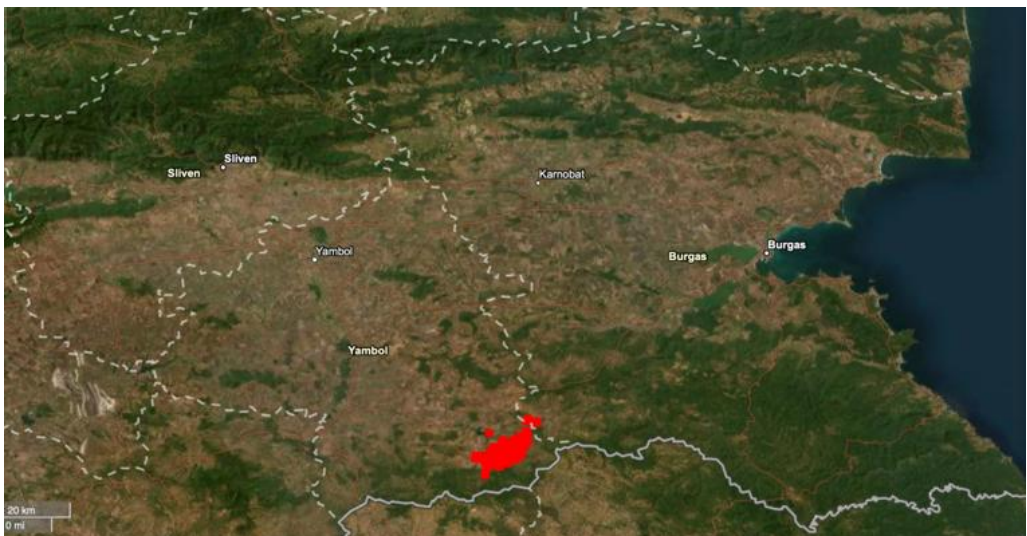
Обект на изследването е пожарът, избухнал на 17 юли 2024 г. в Югоизточна България, близо до гръцката граница, в землищата на селата Воден, Крайнево и Странджа, община Болярово, както и малка част от община Средец. Характерни за региона са широколистните насаждения – цер, благуи, космат дъб, акация и топола, а иглолистните гори са представени от черборови култури, успоредно с тях е залесявано и с бял бор, който е извън ареала си и след една определена възраст започва масово да съхне, а и често е нападан от различни видове насекомни вредители, създадени са и култури от атласки кедър и зелена дугласка [15]. Засегнати са гори и селскостопански земи. От тях около 95 % попадат в защитени територии от Натура 2000, което означава, че са

засегнати ценни хабитати и природни местообитания. По земите около селото са унищожени масиви (вероятно пасища, ниви, овощни градини), парцели с кошери, стопански и нефункционални растителни култури и храсти. В селата са изгорели около 35 къщи и стопански постройки, в резултат на проникване на огъня от съседната борова гора.



Фиг. 3. Пожароопасни области и действащи пожари в България през юли 2024 г.

На фиг. 4 е показано спътниково изображение на изследвания обект на територията на България (UTM 35N, с координати 478 900 m E, 4 641 283 m N: 535 265 m E, 4 682 289 m N) от момента на възникването на пожара, визуализиран във FIRMS, платформа на НАСА [16].



Фиг. 4. Местоположение на изследвания обект в момента на пожара, визуализиран във FIRMS

4.2. Използвани данни

За изследвания район са открити спътникови данни със свободен достъп. Използвани са многоканални спътникови изображения от Sentinel-2, данни от Copernicus Open Access Hub, за периода дати 08.07.2024 г. от преди пожара и 18.07.2024 г. данни по време на пожара и 02.08.2024 г. след пожара. Спътниковите изображения от Sentinel-2 осигуряват 13 спектрални канала, покриващи видимата, NIR и късовълнова инфрачервена област (SWIR) с пространствена разделителна способност от 10 m до 60 m. Спектралната и пространствена информация за Sentinel-2 може да бъде намерена във фиг. 5 (Sentinel-2 hub).

Name	Resolution	Wavelength	Description
B1	60 meters	443.9 nm	Aerosols
B2		496.6 nm	Blue
B3	10 meters	560 nm	Green
B4		664.5 nm	Red
B5		703.9 nm	Red EDG 1
B6	20 meters	740.2 nm	Red EDG 2
B7		782.5 nm	Red EDG 3
B8	10 meters	835.1 nm	NIR
B8A	20 meters	864.8 nm	Red EDG 4
B9		945 nm	Water Vapor
B10	60 meters	1373.5 nm	Cirrus
B11		1613.7 nm	SWIR-1
B12	20 meters	2202.4 nm	SWIR-2

Фиг. 5. Характеристики на спектралните канали

4.3. Технология и резултати от изследването

За основа на експеримента са съчетани две платформи – GIS платформата QGIS и облачна система за обработка на спътникови данни Google Earth Engine (GEE): чрез тях е осъществено наблюдение на избраната територия преди и след пожара; така са изпълнени задачите на изследването за интелигентен мониторинг, за автоматизация, анализ и визуализация на данни на горските територии при настъпилния пожар.

4.3.1. Работа със свободно достъпна QGIS

На фиг. 6 се вижда визуализация на три изображения в среда на QGIS, свързани с пожара в изследвания обект – вляво е изображението преди пожара (08.07.2024 г.), в средата – по време на протичащия пожар (18.07.2024 г.) и вдясно – един ден след пожара (02.08.2024 г.).



преди пожара 07.08.2024



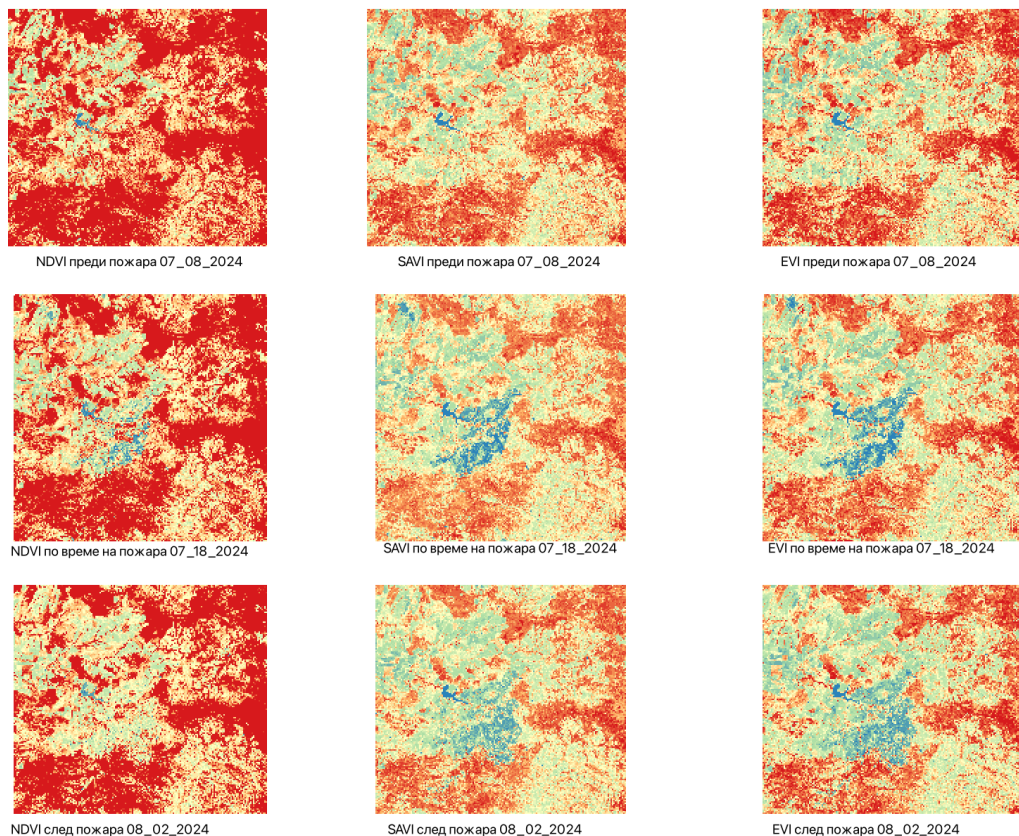
по време на пожара 07.18.2024



след пожара 08.02.2024

Фиг. 6. Изображения в обекта на изследване от Sentinel 2, визуализирани в среда QGIS

За определяне на стойностите на три спектрални индекса NDVI, SAVI, EVI, се използва Raster Calculator в QGIS, в който се извършват математическата операция и прилагането на формулите за получаване на изображенията. На фиг. 7 са показани резултатите от използване на QGIS за преди и по време на пожара на и след пожара в изследвания обект.



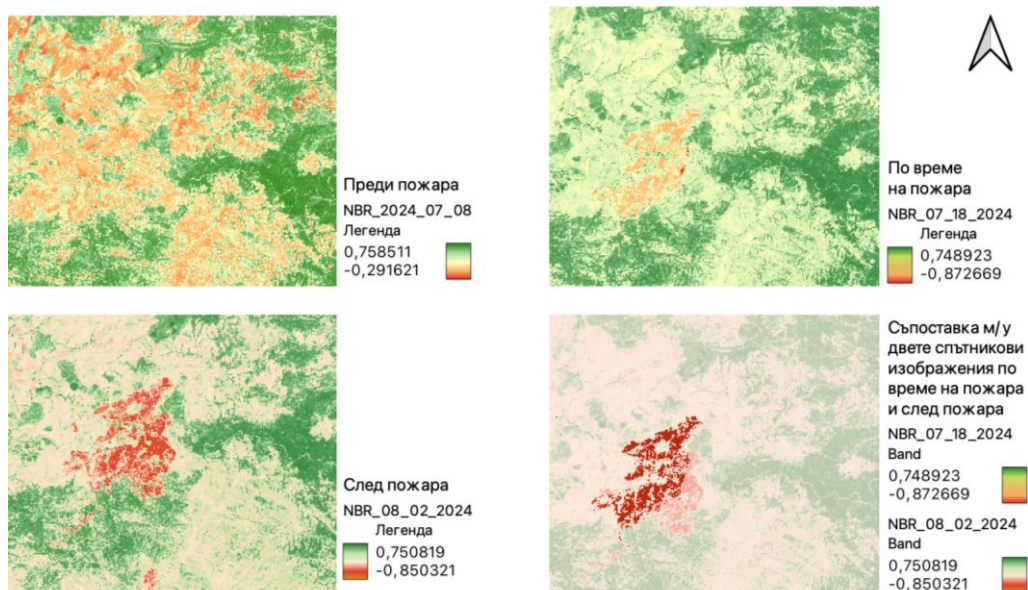
Фиг. 7. Резултати от спектрални индекси NDVI, SAVI, EVI преди, по време и след пожара в среда на QGIS

В резултат на направената визуализация може да се направи анализ на обработените спътникови изображения със съответните вегетационни индекси. В момента на пожара с интервал $(-0,2919431 \text{ до } 0,9109)$ се виждат най-добре засегнатите площи използвайки NDVI в сравнение след пожара с интервал $(-0,858871 \text{ до } 0,9257)$. При EVI най-добре се разпознава наличието на пожар и опожарената площ. Докато NDVI индекса изкуствено завишава растителността, при SAVI има по-ясни граници. Подобно на SAVI, но по-чувствителен към атмосферния фон и при наличие на синия канал, EVI има по-добра диференциация.

С наситено червен цвят са показани горските територии, с оранжев – със здрава растителна покривка. Със светло зелен са изобразени обработваемите територии. Със светло син са териториите без растителност или опожарените. Тъмносин е за водата.

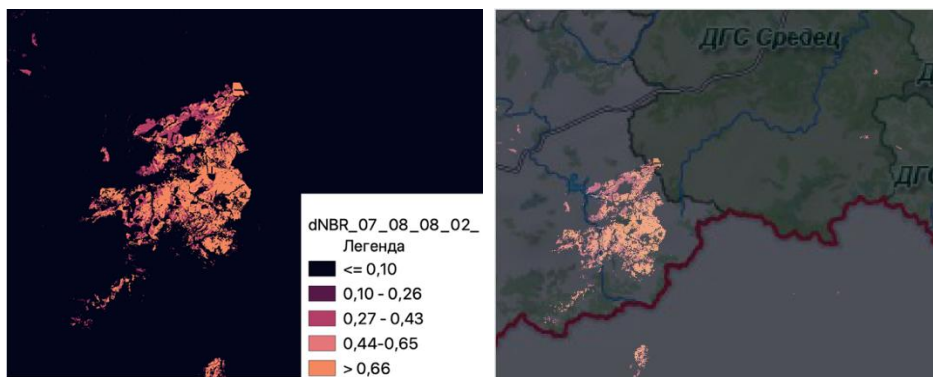
За точна оценка на пожара в изследвания обект е използван индексът за опожарени територии NBR.

Степента на увреждане на растителността е определена чрез индекса NBR, приложен към спътниковите изображения от Sentinel-2 в QGIS и са сравнени условията преди и след пожар (фиг. 8).



Фиг. 8. Визуализация на резултатите за увреждане на растителността чрез NBR в среда на QGIS

Приложен е нормиран разликов индекс за пораженията от пожар dNBR въз основа на изображенията от NBR преди и след пожара. Процесът на класифициране е извършен с помощта на праговите стойности на dNBR (фиг. 9) в съответствие с нивото на тежест на пожара. Тази разлика подчертава по-добре въздействието на пожара и акцентира върху разликата между опожарени площи и здрава растителност. Оценката е по критериите на EFFIS за степента на изгаряне при пожар и нивото на тежест на изгаряне: 1) стойност на dNBR < 0,10 – неизгоряла площ; 2) 0,10 – 0,26 – ниско изгаряне; 3) 0,27 – 0,43 – средно изгаряне; 4) 0,44 – 0,65 – високо изгаряне; 6) > 0,66 – много високо изгаряне [17].



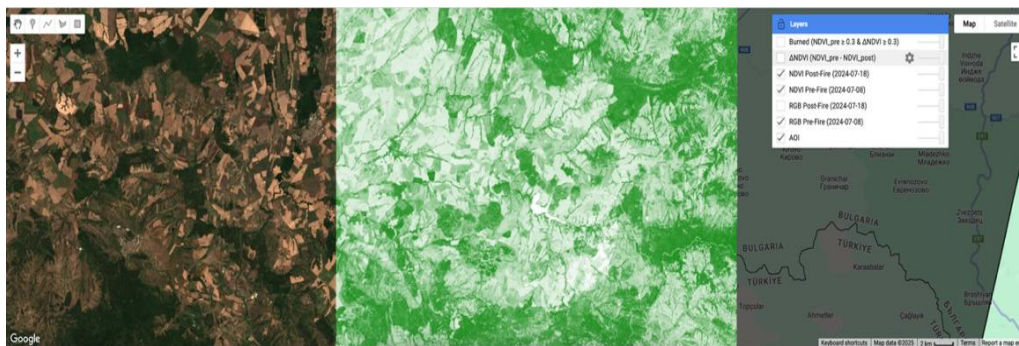
Фиг. 9. Резултат от dNBR, получен чрез QGIS

За целите на анализа на опожарените територии след класификацията на спътниковите изображения беше необходимо да се изчисли площта на всеки клас в резултатния растер. Това е направено с помощта на инструмента “Raster Layer Unique Values Report” в QGIS. Изчислено е колко пиксела съдържа всяка уникална стойност в растера. За да се изчисли площта, съответстваща на всеки клас, е приложена формулата: $\text{Площ (ha)} = \text{Брой пиксели} \times \text{Площта на 1 пиксел (m}^2\text{)}:10.000$. Изгорялата площ е приблизително 6000 ha или 60000 da.

4.3.2 Google Earth Engine (GEE)

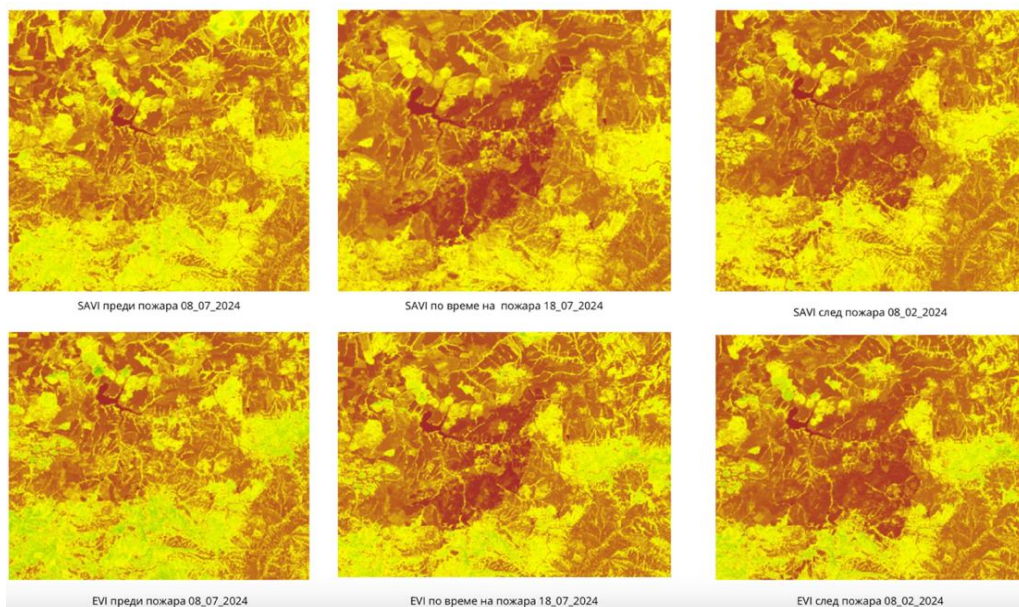
Google Earth Engine улеснява потребителите с това, че събира данни от различни доставчици на спътникови данни – Sentinel, Landsat, Modis и др., които са свободно достъпни и могат да се използват директно. Резултатите от анализа и интерпретацията на данни се получават, без да се налага потребителят да не претоварва компютърната система с допълнителен софтуер и съхранение на големи файлове [18].

Настоящото изследване в среда на платформата Google Earth Engine (GEE) предоставя точно и бързо откриване на областта, засегната от пожара на изследвания обект с помощта на същите изображения от Sentinel-2, използвани в 4.3.1 чрез QGIS. Изчисленията се извършват в реално време в платформата, като може да се работи с множество от данни.



Фиг. 10. Резултат от NDVI чрез GEE

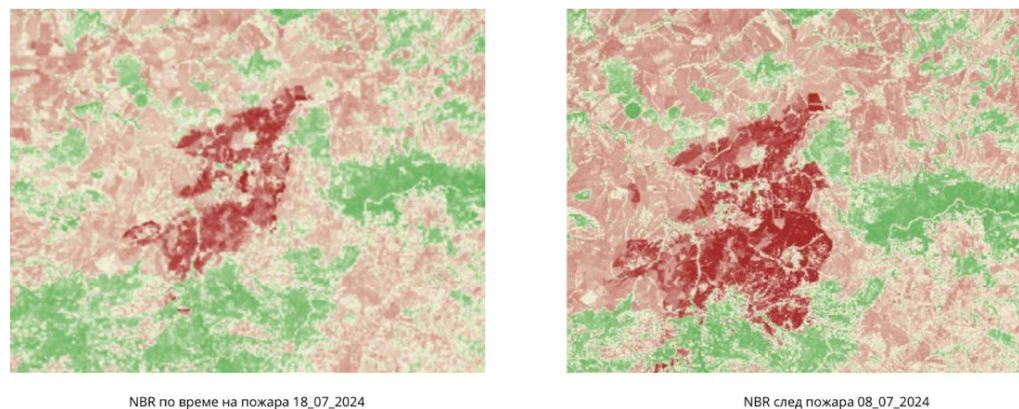
Google Earth Engine (GEE) е платформа, позволяваща бърз и навременен анализ на промените в околната среда, като се използват изображения с различна пространствена и времева разделителна способност с приемлива точност и с оглед на използване за комбиниран анализ на спътникови данни с вградени ML инструменти. Архивът от спътникови изображения на тази платформа, съчетан със сложни вградени инструменти за обработка и анализ, подпомагат изключително успешно проучванията, базирани на дистанционно наблюдение на териториите. В настоящата статия GEE е използвана главно за две цели по отношение на мониторинга на горите, а именно класификация и откриване на промени. Разликата в спектралните индекси е най-ефективният метод за откриване на промени в горите. На фиг. 11 са представени резултатите от прилагане на вегетационни индекси SAVI и EVI, а на фиг. 12 – от индекс NBR, приложен за дните по време на възникване на пожара и след пожара.



Фиг. 11. Резултат от SAVI и EVI в среда на GEE

В сравнение със SAVI, EVI показва по-висок контраст между гъста растителност и околните райони, особено в гористи места. Индексът SAVI от своя страна е по-информативен в райони със смесен почвена и растителна покривка, като пасища и по периферията на нивите. Получените резултати от SAVI и EVI в Google Earth Engine показват, че и двата индекса успешно разграничават нивата на растителна покривка. SAVI е по-надежден в зони с почвено влияние и ниска растителност, докато EVI демонстрира по-висока чувствителност и яснота в гъсти горски територии.

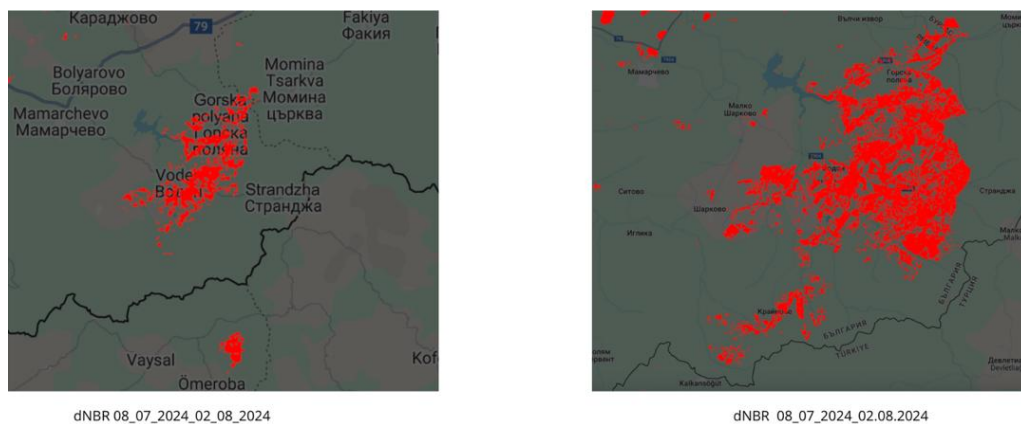
В GEE също е изчислен индексът NBR за дните по време на пожара и след пожара, изчислена е разликата и е направена автоматизирана класификация по зададени стандарти. В QGIS създаването на по-сложна визуална интерпретация е възможно, но обработката за големи площи и при различни пожари би била по-бавна в сравнение с GEE.



Фиг. 12. Резултат от NBR в среда на GEE

Изчисленият индекс NBR за пожара показва ясно разграничение между изгорелите и незасегнати зони.

Високите стойности на NBR (0,6 – 0,8) характеризират гъста растителност преди пожара, докато стойности около 0 или отрицателни след пожара свидетелстват за силна деградация на биомасата и наличие на овъглени повърхности [19]. След изчислението на нормиран разликен индекс за пораженията от пожар dNBR е направена маска за визуализирането на изгорели и неизгорели площи (фиг. 13). Изчисленията в среда на Google Earth Engine са по-сложни и изискват задълбочени познания в среда на JavaScript/GEE API. Докато в QGIS може ръчно да се създаде легенда и цветови таблици, тук има вградено цветово кодиране с легенда и threshold класификации. Изчисляването на площи в QGIS може да се извърши с помощта на Semi-Automatic Classification Plugin, Zonal Statistic или Raster Reports, в Google Earth Engine има вградени скриптове и резултатите излизат директно в хектари. GEE е по-подходящ за работа в глобален аспект, докато QGIS в определена зона на интерес.



Фиг. 13. Резултати от dNBR

5. Изводи и препоръки

Разработката цели да покаже ефективността и надеждността при управлението на горските ресурси чрез съчетаване на спътникови изображения, спектрални индекси и използване на платформи, като GEE и QGIS. Усъвършенстване на методи за анализ и интерпретация на големи масиви от данни за проследяване на динамиката на горите цели подпомагане на институции и общини при вземане на решения за устойчиво управление на горските ресурси. Технологиите за интелигентен мониторинг все по-често ще се прилагат за вземане на решения, управление, бърза реакция при бедствия и дългосрочен мониторинг.

Съвременните технологии за интелигентен мониторинг играят ключова роля в адаптацията на горския сектор към работа в условия на климатични промени и в изграждането на по-устойчиво управление на горските ресурси. От съществено значение за опазването на горите и биологичното разнообразие е подобрена интеграция между различни източници на геопространствени данни. В бъдеще се очаква по-широко използване на изкуствен интелект и машинно обучение за автоматичен анализ, както и използване на уеббазирани платформи за мониторинг в реално време.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tepeliev, Yu., Koleva, R., Asenova, M.* 2018, Manual of Photogrammetry and Remote Methods. Ed. house at LTU – Sofia, ISBN 978-954-332-166-7, 279.
2. *Warren B. Cohen, Samuel N. Goward.* 2004, Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing. BioScience, Volume 54, Issue 6, Pages 535 – 545.
3. *Pol, R., Marvin, E.* 1996, Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Digital Imagery.
4. https://bhu.ac.in/Images/files/Remote%20Sensing%20and%20GIS_Note.pdf, poseteno na 12.04.2025.
5. *Boyd, D. S., Danson, F. M.* 2005, Satellite remote sensing of forest resources: three decades of research development.
6. *Tepeliev, Yu., Dimitrov, V., Rashkov, S.* 2008, Geographic Information Systems. Ed. LTU house, Sofia, ISBN 978-954-332-052-3, 163.
7. *Asenova, M.* 2023, Geoinformational approaches and solutions in the application of GIS for forest territories. Ed. Intel Entrance, Sofia, ISBN 978-619-7703-45-0, 136.
8. *Asenova, M.* 2023, Optimization of database structure and spatial analysis in specialized GIS for forests. Ed. Intel Entrans, ISBN 978-619-7703-28-3, 10.
9. *Ivanova, A.* Feed-Forward Neural Network for Graphical Symbol Recognition in Additive Noise Environment. Proceedings of the 7th IEEE International Conference “Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering” (BdKCSE’2021) 28 – 29 October 2021, Sofia, Bulgaria, Electronic, ISBN 978-1-6654-1042-7, Print on Demand (PoD) ISBN 978-1-6654-1043-4, DOI: 10.1109/BdKCSE53180.2021.96272 89, pp. 1 – 8 (Scopus).
10. *Alotaibi, E., Nassif, N.* Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis. Discov Artif Intell 4, 84 (2024), <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00198-1>.
11. *Tepeliev, Yu., Koleva, R., Asenova, M.* 2013, Guide of Photogrammetry and Remote Methods. Ed. house at LTU – Sofia, ISBN 978-954-332-100-1, 172.
12. *Koleva, R.* 2009, Investigating the spectral dissipation of tree species in automated classification with training in satellite images of different resolution.
13. https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/apps/effis_current_situation/, poseteno na 05.06.2025.
14. <https://www.wwf.bg/?18593866/gorskite-pozhari-v-bulgaria-mashtab-prichini-shteti>, poseteno na 07.05.2025.
15. <https://dgselhovo.uidp-sliven.com>, poseteno na 03.06.2025.
16. https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2024-0717;l:fires_all,countries,earth;@27.08,42.16,11.14z, poseteno na 07.05.2025.
17. *Tsarovska, J.* 2023, Photogrammetric and remote methods for monitoring agricultural and urbanized territories.
18. *Filipova, S.* 2023, Interpretation of space images, principles, techniques, applications. University of Architecture, Construction and Geodesy, ISBN 978-954-724-169-5.
19. *Rusctu Calli, Emirhan Ozdemir, Aliihsan Sekertekin, Mitat Can Yildiz.* Detection and analysis of burned areas with Sentinel-2. Satellite imagery and fire severity map: 2025 Los Angelis fire.

MODERN TECHNOLOGIES FOR INTELLIGENT MONITORING OF FORESTS

S. Stoyanova¹

Keywords: modern monitoring technologies, Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), forest resources, forest fires damage, spectral indices

ABSTRACT

Modern technologies for intelligent monitoring play a key role in the sustainable management of forest resources and the protection of biodiversity. Satellite images with appropriate resolution for forest research from different types of platforms, combined with spectral indices (vegetation, soil, forest fire, etc.), allow large-scale monitoring of the state of forests, changes in land cover, damage resulting from fires and anthropogenic activity. This paper presents a brief overview of the development of intelligent monitoring technologies and their applications for the study of forest areas, the possibilities and future directions for making informed decisions by institutions in the forest sector. Models for the study of forest areas affected by fires using Sentinel-2 satellite images in the QGIS and Google Earth Engine environment are considered. In relation to climate change, as well as the growing needs for automation, precise analysis and processing of big geospatial data, the consideration of such models is becoming more and more crucial.

¹ Stanimira Stoyanova, Assist. Prof. Eng., Dept. "Forest Management and Management", University of Forestry, 10 Kliment Ohridski Blvd., Sofia 1797, e-mail: stoyanova.stanimira@ltu.bg