ПЕРСПЕКТИВИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ГЕОПРОСТРАНСТВЕНИ ПЛАТФОРМИ ЗА РЕГИОНАЛЕН МОНИТОРИНГ НА ОПАСНИ ЯВЛЕНИЯ: ОПИТЪТ С ORACLE AEROSPACE SHIELD

Стефан Шопов, Гаро Мардиросян, Мария Димитрова, Павлин Граматиков

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: stefan.shopov@space.bas.bg

Ключови думи: *дистанционни изследвания, оценка на риска, горски пожари, свлачища, наводнения, Copernicus, FWI, БЛА, изкуствен интелект*

Резюме: *Статията представя геопространствената платформа Oracle Aerospace Shield за регионална оценка на опасността от наводнения, свлачища и горски пожари в Европа. Платформата съчетава спътникови данни от Copernicus (Sentinel-1 и Sentinel-2), метеорологичен реанализ ERA5, цифров модел на релефа и климатична класификация по Кьопен-Гайгер в двупроходен конвейер, достъпен като уеб услуга. Описани са три физически обосновани модела: прагове „интензитет-продължителност“ за свлачища, комбиниран валежно-спектрален индекс за наводнения и верижно изчислен канадски индекс FWI за пожари, коригиран с NDVI. Резултатите за Тесалия (Гърция) през сезона на 2026 г. са сравнени с наблюденията на EFFIS и NASA FIRMS, като се подчертава разликата между опасност и реално възникване. Обсъдени са перспективите за включване на данни от безпилотни летателни апарати (БЛА) и методи на изкуствения интелект.*

PROSPECTS FOR THE USE OF GEOSPATIAL PLATFORMS FOR REGIONAL MONITORING OF HAZARDOUS PHENOMENA: THE EXPERIENCE WITH ORACLE AEROSPACE SHIELD

Stefan Shopov, Garo Mardirossian, Maria Dimitrova, Pavlin Gramatikov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: stefan.schopov@gmail.com

Keywords: *remote sensing, risk assessment, wildfire, landslide, flood, Copernicus, FWI, UAV, artificial intelligence*

Abstract: *The paper presents Oracle Aerospace Shield, a geospatial platform for regional assessment of flood, landslide and wildfire hazard in Europe. It combines Copernicus Sentinel-1/2 imagery, ERA5 reanalysis, a digital elevation model and the Köppen-Geiger climate classification in a two-pass pipeline delivered as a web service. Three physically based models are described: rainfall intensity–duration thresholds for landslides, a combined precipitation-spectral index for floods, and a chained Canadian Fire Weather Index adjusted by NDVI. Results for Thessaly (Greece) in the 2026 season are compared with EFFIS and NASA FIRMS observations, highlighting the difference between hazard and actual occurrence. Prospects for integrating unmanned aerial vehicle (UAV) data and artificial intelligence are discussed.*

Въведение

През последното десетилетие Европа преживява все по-чести и по-разрушителни природни бедствия. Горските пожари в Средиземноморието обхващат стотици хиляди хектари годишно, а сезонът им се удължава и измества на север. Интензивните валежи предизвикват внезапни наводнения и свлачища, както показаха бурята „Даниел“ в Тесалия (2023 г.) и наводненията в Централна Европа (2024 г.). Тези явления засягат и България, където пожарите в Южна България и свлачищата по Черноморието и в Предбалкана са постоянен проблем за местните власти. Аерокосмическите технологии отдавна са утвърден инструмент за изучаване,

наблюдение и защита от природните бедствия [1], а системите за ранно предупреждение, например за наводнения под язовирни стени, са важна част от защитата на критичната инфраструктура [2].

Спътниковото наблюдение на Земята вече предлага безплатни и редовни данни с висока разделителна способност. Програмата Copernicus осигурява оптични изображения от Sentinel-2 и радарни изображения от Sentinel-1, а реанализът ERA5 дава последователни метеорологични полета от 1940 г. насам. Европейските оперативни услуги, като Европейската информационна система за горски пожари (EFFIS) [3] и Copernicus EMS, използват тези данни за наблюдение в континентален мащаб. В ИКИТ-БАН има дългогодишен опит в регистрирането на наводнения и пожари на територията на България по спътникови данни и в изграждането на тематични бази от спътникови данни за екологичен мониторинг [4–6]. На регионално и местно ниво обаче липсват лесни за използване инструменти, които обединяват няколко вида опасност, работят за произволна точка и обясняват резултата си.

Целта на статията е да представи методологията на платформата Oracle Aerospace Shield, която запълва тази празнина, и да оцени доколко нейните резултати съответстват на реални наблюдения. Платформата работи като публична уеб услуга на адрес oracleaerospaceshield.com: потребителят избира точка на картата на Европа и период, а системата връща оценка на опасността от наводнение, свлачище и горски пожар с обяснение на факторите. В раздел 2 са описани данните и архитектурата, в раздел 3 – моделите за оценка на опасността, в раздел 4 – пример за валидация с реални наблюдения, а в раздел 5 – перспективите за развитие чрез безпилотни летателни апарати (БЛА) и методи на изкуствения интелект.

Данни и архитектура

Източници на данни

Платформата използва само данни от открити източници. Спътниковите и климатичните продукти се обработват в облака чрез Google Earth Engine [7], а дневните метеорологични редове се взимат от архива на Open-Meteo [8], който се базира на ERA5 [9]. Оптичните и радарните данни са от мисиите Sentinel-2 [10] и Sentinel-1 [11], релефът е от SRTM [12], а наблюденията на пожари са от NASA FIRMS [13] и EFFIS. Данните от мисиите Sentinel се използват в ИКИТ-БАН и за други задачи на екологичния мониторинг, например за оценка на замърсяването на въздуха [14]. Използваните източници са обобщени в табл. 1.

Таблица 1. Източници на данни

Източник	**Продукт**	**Използване**
Sentinel-2 L2A	NDVI, NDWI	растителност, повърхностни води
Sentinel-1 GRD	обратно разсейване VV, dB	залети площи, влажност
ERA5 / ERA5-Land	валеж, температура, влажност, вятър, почвена влага	тригери за всички опасности
SRTM, 30 m	наклон, надморска височина	свлачища, наводнения
WorldClim [15]	месечни климатични норми	класификация по Кьопен–Гайгер
NASA FIRMS, EFFIS	активни огнища, опожарени площи	валидация, слоеве на картата
NASA GLC [16], Copernicus EMS	исторически събития	сравнение с минали случаи

Предварителна обработка

Анализът се извършва в кръгова зона с радиус 1 km около избраната точка. От Sentinel-2 се избира изображението с най-малка облачност за периода, при условие че тя е под 20%. Ако за периода няма подходящо изображение, търсенето се разширява до 90 дни назад с праг 50%. От него се изчисляват нормализираният вегетационен индекс NDVI [17] и водният индекс NDWI [18]:

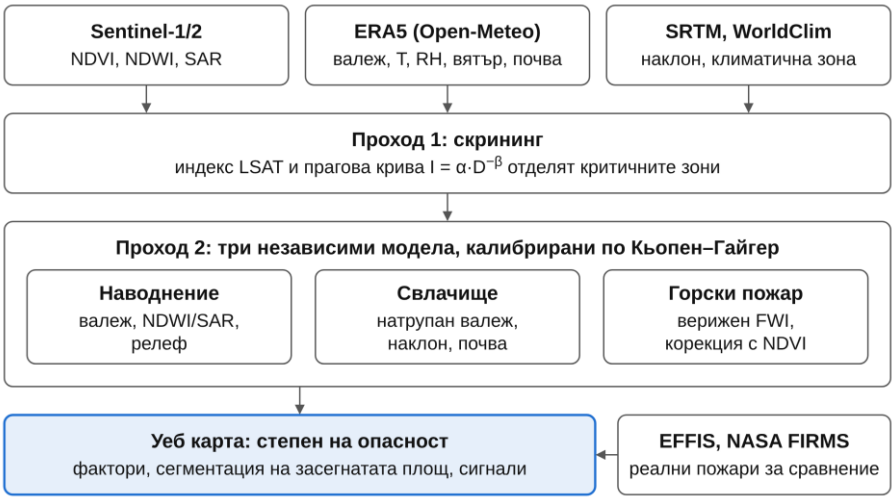
(1) $$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}, \quad NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}},$$

където ρ е отражателната способност в каналите B8 (близък инфрачервен), B4 (червен) и B3 (зелен). Вместо средната стойност за зоната се взима най-неблагоприятната ѝ част: 10-ият персентил на NDVI (най-сухата растителност) и 90-ият персентил на NDWI (най-наситената с вода площ). По същата логика от Sentinel-1 се взима последното изображение в режим IW с поляризация VV и 90-ият персентил на обратното разсейване при 10 m, а от SRTM – 90-ият персентил на наклона и минималната надморска височина, където се събира водата.

Метеорологичният ред съдържа дневен валеж, максимална температура, минимална относителна влажност, скорост на вятъра в m/s и почвена влага. За пожарния индекс редът започва 60 дни преди избрания период (раздел 3.4).

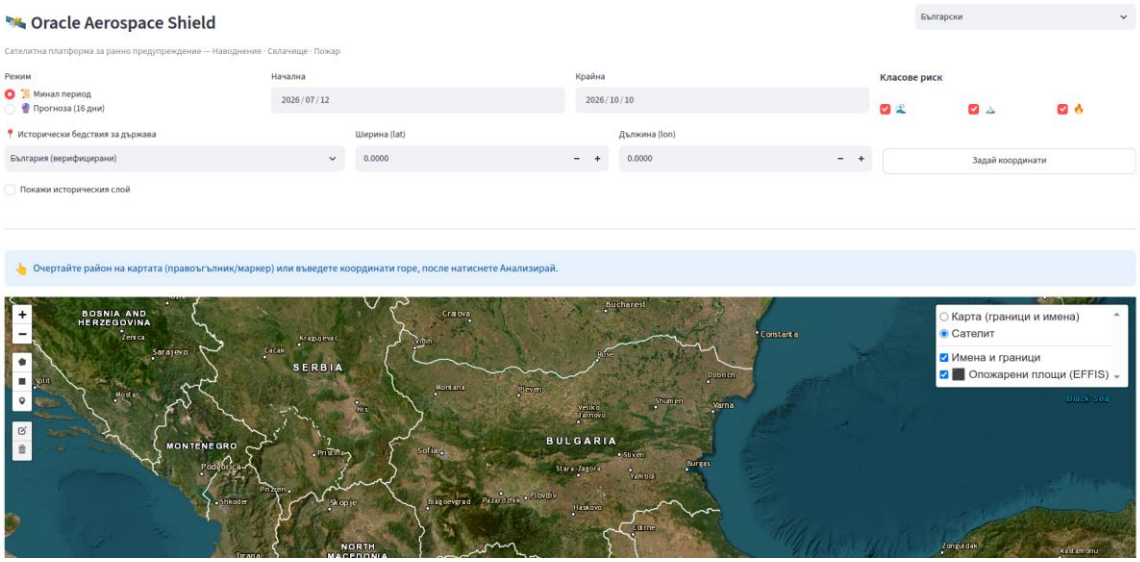
Двупроходен конвейер и уеб интерфейс

Обработката протича в два прохода (Фиг. 1). При първия за всяка локация се събират данните за избрания период и се прилага бърз скрининг: индекс на възприемчивост към свлачища (LSAT) и проверка на валежа спрямо праговата крива „интензитет-продължителност“. Локациите, които преминават скрининга, стават „критични зони“. При втория проход трите модела оценяват всяка зона независимо, така че една и съща точка може да е застрашена от няколко явления едновременно. Засегнатата площ се сегментира по NDVI, NDWI и SAR и при нужда се генерира сигнал.



Фиг. 1. Архитектура на Oracle Aerospace Shield: два прохода, три модела

Уеб интерфейсът е реализиран със Streamlit и Folium и работи в Docker контейнер (Фиг. 2). Подходът продължава разработената в ИКИТ-БАН уеб база от изображения MODIS, в която данните се извличат по период, облачна покривка и вид събитие (пожар, наводнение, замърсяване) [5]. Потребителят избира режим (минал период или прогноза до 16 дни), начална и крайна дата и класовете риск, след което отбелязва точка или правоъгълник на картата. Над основната карта се показват като отделни слоеве активните огнища на NASA FIRMS и опожарените площи на EFFIS за избрания период в цяла Европа, така че моделната оценка и реалните наблюдения могат да се сравнят визуално. Резултатът за всяка опасност се показва като карта с процент, степен и кратко обяснение на водещите фактори.



Фиг. 2. Уеб интерфейс на платформата: период, класове риск и слой с опожарени площи по EFFIS

Методология за оценка на риска

Общ подход

Всеки фактор x се нормализира линейно между физически обоснована долна граница a и горна граница b:

(2) $$f(x) = min(1, max(0, \frac{x-a}{b-a})),$$

а крайната оценка *R* е претеглена сума на нормализираните фактори. Изборът на прости, прозрачни модели е съзнателен: всяка оценка се придружава от списък на факторите, които я формират, и може да бъде проверена от експерт. Оценката се превръща в степен на опасност: нисък (под 0,35), среден (0,35–0,55), висок (0,55–0,75) и критичен (над 0,75). Границите и теглата на трите модела са обобщени в табл. 2.

Таблица 2. Фактори, граници на нормализиране и тегла на моделите

Модел	Фактор	Граници a–b	Тегло
Наводнение	максимален денонощен валеж P	10–80 mm	0,50
	повърхностна вода: max(NDWI, SAR)	−0,2 –0,6; −20…−5 dB	0,30
	релеф T (обратно на наклона)	0–15°	0,20
Свлачище	натрупан валеж за 14 дни C	30–150 mm	0,45
	наклон S	10–40°	0,35
	почвена влага M	0,1–0,5 m³/m³	0,20
Горски пожар	пиков FWI за периода	0–50	1,00
	корекция по NDVI	0,5–0,8	×1,00…0,35

Наводнения

Моделът комбинира максималния денонощен валеж *P*, наличието на повърхностна вода и релефа. Водата се оценява по два независими сензора, NDWI от Sentinel-2 и обратното разсейване от Sentinel-1, като се взима по-високата нормализирана стойност. Така радарът компенсира облачността, която често съпътства валежа. Релефният фактор *T* е обратно пропорционален на наклона, защото водата се събира в низините:

(3) $$R_{fl} = 0{,}5 \cdot P + 0{,}3 \cdot max(NDWI, SAR) + 0{,}2 \cdot T\ .$$

При екстремен валеж над 50 mm/24 h факторът на валежа се увеличава 1,3 пъти, за да се отрази опасността от внезапни (поройни) наводнения.

Свлачища

Скринингът използва прагова крива „интензитет–продължителност“ [19], където *I* е средната интензивност на валежа в mm/h, а *D* е продължителността на събитието в часове:

(4) $$I = \alpha \cdot D^{-\beta}\ .$$

Параметрите се избират според климатичната зона на точката (ориентировъчни стойности, приети в платформата: α = 2,28 и β = 0,44 за средиземноморски климат, α = 3,80 и β = 0,40 за умерен климат). Отчитат се само валежни събития с продължителност поне 6 часа. Индексът LSAT съчетава наклон (тегло 0,55), натрупан валеж за 14 дни (0,35) и бонус 0,10 при надвишена крива. Окончателният модел за свлачища е:

(5) $$R_{ls} = 0{,}45 \cdot C + 0{,}35 \cdot S + 0{,}20 \cdot M,$$

където C е натрупаният валеж, S е наклонът, а M е почвената влага (табл. 2). При наклон под 8° оценката се ограничава силно, тъй като равнинните терени на практика не се свличат.

Горски пожари

Основата е канадската система Fire Weather Index (FWI) [20], която използва и EFFIS. Системата се състои от три кода за влажност на горивото и три индекса за поведение на пожара. Кодът FFMC описва влажността на финото гориво на повърхността и реагира в рамките на дни, DMC – на средно дълбокия органичен слой (седмици), а DC – на дълбоките слоеве и едрите горива (месеци). От FFMC и вятъра се изчислява индексът на първоначално разпространение ISI, от DMC и DC – индексът на наличното гориво BUI, а от ISI и BUI – самият FWI.

Трите кода са рекурсивни: стойността за деня зависи от тази за предходния ден. Ако се изчисляват само за избрания период, те започват от началните стойности и подценяват натрупаното засушаване. Затова веригата се изчислява ден по ден от 60 дни преди началото на периода със стандартните начални стойности (FFMC = 85, DMC = 6, DC = 15). Входните

данни са максималната дневна температура, минималната относителна влажност, вятърът и валежът. За оценка се взима пиковата стойност на FWI в периода, нормализирана между 0 и 50, а като допълнителна информация се отчитат датата на пика и броят дни с FWI ≥ 21,3. Растителността коригира резултата: при NDVI над 0,5 (гъста, зелена растителност) оценката се намалява линейно до множител 0,35 при NDVI = 0,8:

(6) $R_{fire} = f(FWI) \cdot k, k = 1 - 0{,}65 \cdot f(NDVI)$,

където f е нормализирането по формула (2) с граници 0–50 за FWI и 0,5–0,8 за NDVI.

Климатично калибриране

Една и съща стойност на валежа има различно значение в Алпите и в Тесалия. Затова всяка точка се отнася към една от осем опростени климатични групи, изведени от класификацията на Кьопен-Гайгер [21]. В текущата версия климатичната зона определя параметрите на праговата крива (4). За всяка от осемте групи са разработени и пълни калибрационни таблици с граници за трите модела; примери за климатичните зони в България са дадени в Табл. 3. Включването им в изчислението на трите оценки е следващата стъпка в развитието на платформата.

Таблица 3. Примерни калибрационни граници за климатичните зони в България

Зона (пример)	**Денонощен валеж за наводнение, mm**	**Натрупан валеж за свлачище, mm**	**Наклон за свлачище, °**
Cfb – умерен (София, Стара Загора)	25–70	60–320	5–30
Dfb – континентален (Северна България)	20–65	50–250	8–35
Cfa – влажен субтропичен (Тракия)	22–65	50–260	5–28
Csa/Csb – средиземноморски (Южни Родопи)	18–55	30–200	5–30
ET/Dfd – планински (Рила, Пирин)	30–90	80–380	10–45

Резултати и валидация

За демонстрация е избрана точка край Лариса (Тесалия, Гърция) и периодът 12.07–10.10.2026 г. Платформата оцени опасността от пожар като критична: пиковата стойност на FWI е 73,2 (на 7.09.2026 г.), а в 69 от 91-те дни FWI е над 21,3. Това означава, че почти през целия период условията са благоприятствали бързото разпространение на пожар. Опасността от наводнение е ниска (0,34), а от свлачище липсва (0,00), което съответства на сухото лято и на равнинния релеф.

Резултатът за пожарите е сравнен с опожарените площи, картирани от EFFIS, и с активните огнища на NASA FIRMS (табл. 4). През периода EFFIS регистрира седем пожара в област Лариса, всичките под 35 ha.

Таблица 4. Опожарени площи по EFFIS най-близо до избраната точка

Населено място	**Дата**	**Площ, ha**	**Разстояние, km**
Анатоли	14.09.2026	5	≈ 22
Ахилио (Фарсала)	01.08.2026	32	≈ 36
Лутро Ларисис*	08.07.2026	68	≈ 25

** преди началото на периода, посочено за сравнение.*

Най-големите пожари в Гърция през 2026 г. са в Атика, на Крит, в област Солун и на островите, а не в низината на Тесалия. Това не опровергава моделната оценка, а показва разликата между опасност и възникване. FWI описва колко лесно би се запалил и разпространил пожар при дадено време. Дали той ще възникне, зависи от източник на запалване (човешка дейност, мълния), а дали ще стане голям, зависи от количеството и непрекъснатостта на горивото и от възможностите за гасене. В земеделската Тесалийска низина пожарите са чести, но малки, което съответства на наблюденията. Затова в интерфейса моделната опасност и реалните наблюдения се показват заедно, без едното да се представя като доказателство за другото.

Примерът очертава и ограниченията на подхода. Първо, метеорологичните данни са с пространствена разделителна способност около 10–30 km и не отразяват местни конвективни валежи. Второ, теглата в моделите са експертно зададени и се нуждаят от системна калибрация. Трето, оценката е за точка, а не за площ, така че коректното сравнение с наблюденията изисква радиус на сравнение (в платформата 10 km за FIRMS и 25 km за EFFIS). Четвърто, оптичните индекси зависят от наличието на безоблачно изображение, а облачната

покривка над България съществено ограничава наблюдението на явленията с оптични сензори [6], а при разширяване на търсенето до 90 дни те могат да не отразяват текущото състояние. Системната валидация по много локации и сезони е предмет на последваща работа.

Перспективи: БЛА и изкуствен интелект

Интеграция с безпилотни летателни апарати

Спътниците дават регионална картина с разделителна способност 10–30 m и повторно наблюдение на няколко дни, докато БЛА могат да осигурят сантиметрова разделителна способност в рамките на часове и под облаците. Мултикоптерите вече се прилагат и за геофизични изследвания с измерване на електрическите и магнитните свойства на терена [22], като носят магнитни, електромагнитни, инфрачервени, радарни и гама-сензори [23], а продължителността на полета им зависи до голяма степен от бордовите електрозахранващи системи [24]. Двата източника се допълват: естествената роля на платформата е да насочва полетите, а БЛА да проверяват и уточняват спътниковата оценка там, където тя е най-неопределена.

Предлаганата схема на интеграция има три стъпки. Първо, критичните зони от първия проход се превръщат в задачи за разузнаване с координати, площ и вид на опасността. Второ, според вида на опасността се избира полезният товар: термална камера за ранно откриване на огнища и контрол на тлеене след пожар; фотограметрични или LiDAR модели на склонове за наблюдение на деформации преди свлачище; мултиспектрална камера за прецизно картиране на залети и опожарени площи. Трето, резултатите от полета се връщат в платформата като нов георефериран слой, който служи и за калибриране на спътниковите индекси. Основните предизвикателства са нормативните ограничения за полети извън пряка видимост, времето за реакция на екипите и георефернирането на данните в обща система със спътниковите продукти.

Рояци от БЛА

Ограниченията на единичния апарат по продължителност на полета и обхват се преодоляват с рой: група от прости апарати, които се самоорганизират децентрализирано и решават колективно задачи, непосилни за всеки от тях поотделно [25]. За платформата това носи три предимства. Първо, мащаб и честота: екип от малки апарати за ниска височина може да следи периметъра на голям пожар и да подава на екипите на терена актуални данни с минимално закъснение [26]. Второ, устойчивост: отпадането на един апарат не прекъсва мисията, а апарати се добавят или изтеглят за презареждане, без да се спира наблюдението [26]. Трето, разделение на задачите: апаратът, открил огнище, насочва останалите за потвърждение, а съчетаните наблюдения от няколко апарата намаляват грешката при определяне на местоположението на пожара [27]. Тъй като патрулните мисии се планират с приоритет за зоните с по-висок пожарен риск [27], картата на платформата е естественият планиращ слой за такъв рой.

Методи на изкуствения интелект

Натрупаните от EFFIS, NASA FIRMS, NASA GLC и Copernicus EMS исторически събития дават възможност експертните тегла да бъдат заменени с обучени. Предвидени са четири насоки. Първо, класификатори с градиентно усилване (напр. XGBoost [28]) върху същите физически признаци, които запазват обяснимостта чрез оценка на приноса на всеки признак (напр. SHAP [29]). Второ, конволюционни невронни мрежи за сегментиране на залети и опожарени площи върху изображенията от Sentinel и БЛА. Трето, откриване на аномалии във времевите редове на NDVI и радарното разсейване като ранен сигнал за изсъхване или движение на склон. Четвърто, прогнози за 7–14 дни чрез числени метеорологични прогнози вместо реанализ, които надграждат съществуващия режим „прогноза до 16 дни“ и превръщат платформата в инструмент за ранно предупреждение.

При всички насоки физическите модели от раздел 3 остават еталон и резервен вариант при липса на данни за обучение. Обучените модели се сравняват с тях по едни и същи исторически събития и се въвеждат само там, където показват по-добри резултати, без да се губи обяснението на оценката.

Заключение

Oracle Aerospace Shield показва, че откритите данни на Copernicus и ERA5, обработени в облака с прозрачни физически модели, позволяват бърза оценка на три вида опасност за произволна точка в Европа. Верижното изчисляване на FWI е съществено за коректна оценка на пожарната опасност, а сравнението с EFFIS и NASA FIRMS директно в интерфейса помага на потребителя да различава опасност от реално събитие. Следващите стъпки са включване на климатичните калибрационни таблици в трите модела, системна валидация по исторически събития, интеграция на данни от БЛА и обучаващи модели, които да допълнят физическите, без да жертват обяснимостта. Платформата е приложима за нуждите на общини, служби за гражданска защита и застрахователи в България и региона.

Литература:

1. Мардиросян, Г. Аерокосмически технологии в борбата срещу природните бедствия. АИ „Проф. Марин Дринов“, София, 2026, с. 221, ISBN 978-619-245-574-3.
2. Mardirossian, G., B. Ranguelov, P. Getsov, S. Zabunov. Two innovations for critical infrastructure protection from natural disasters. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 2023, 76(10), pp. 1554–1561.
3. San-Miguel-Ayanz, J. et al. Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: the European Forest Fire Information System (EFFIS). In: Tiefenbacher, J. (ed.), Approaches to Managing Disaster – Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts. InTech, 2012, pp. 87–108.
4. Димитрова, М., Р. Недков. Регистриране на наводнения и пожари по данни от MODIS. Екологично инженерство и опазване на околната среда, 2014, бр. 3(4), с. 19–24.
5. Димитрова, М., Б. Велчева. Организация на специализирана web-база данни със спътникови изображения за екомониторинг на България. Proceedings of the Tenth Anniversary Scientific Conference with International Participation „Space, Ecology, Safety“ SES 2014, Sofia, 2014, pp. 435–439.
6. Димитрова, М. Изграждане на база от спътникови данни и приложението ѝ за екологични изследвания на територията на България. Дисертация за присъждане на образователна и научна степен „доктор“, ИКИТ-БАН, София, 2016.
7. Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, R. Moore. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 2017, 202, pp. 18–27.
8. Zippenfenig, P. Open-Meteo.com Weather API. Zenodo, 2023, doi:10.5281/zenodo.7970649.
9. Hersbach, H. et al. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2020, 146(730), pp. 1999–2049.
10. Drusch, M. et al. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. Remote Sensing of Environment, 2012, 120, pp. 25–36.
11. Torres, R. et al. GMES Sentinel-1 mission. Remote Sensing of Environment, 2012, 120, pp. 9–24.
12. Farr, T. G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics, 2007, 45, RG2004.
13. Giglio, L., W. Schroeder, C. O. Justice. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. Remote Sensing of Environment, 2016, 178, pp. 31–41.
14. Dimitrova, M. Seasonal and temporal behavior of background NO2 pollution over Bulgaria on the base of Sentinel P5 data. Proceedings of the Nineteenth International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety“ SES 2023, Sofia, 2023, pp. 179–181.
15. Fick, S. E., R. J. Hijmans. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 2017, 37(12), pp. 4302–4315.
16. Kirschbaum, D. B., R. Adler, Y. Hong, S. Hill, A. Lerner-Lam. A global landslide catalog for hazard applications: method, results, and limitations. Natural Hazards, 2010, 52(3), pp. 561–575.
17. Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, Washington, 1974, pp. 309–317.
18. McFeeters, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7), pp. 1425–1432.
19. Peruccacci, S., M. T. Brunetti, S. Luciani, C. Vennari, F. Guzzetti. Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy. Geomorphology, 2012, 139–140, pp. 79–90.
20. Van Wagner, C. E. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 35, Canadian Forestry Service, Ottawa, 1987.
21. Beck, H. E., N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg, E. F. Wood. Present and future Köppen–Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific Data, 2018, 5, 180214.
22. Zabunov, S., G. Mardirossian. Multicopters for geophysical research. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, 2023, 76(7), pp. 1077–1083.
23. Граматиков, П., Дж. Тахов. Проучване на земните недра с безпилотни летателни апарати. Proceedings of the Twentieth Anniversary International Scientific Conference „Space, Ecology, Safety“ SES 2024, Sofia, 2024, pp. 122–127.
24. Граматиков, П., П. Гецов, Б. Бойчев, Г. Сотиров. Вторични електрозахранващи източници и системи на безпилотни летателни апарати. Университетска научна конференция, Национален военен университет „Васил Левски“, Велико Търново, 2014, с. 143–153.
25. Parpinelli, R., H. S. Lopes (eds.). Theory and New Applications of Swarm Intelligence. InTech, Rijeka, 2012, ISBN 978-953-51-0364-6.
26. Casbeer, D. W., D. B. Kingston, R. W. Beard, T. W. McLain. Cooperative forest fire surveillance using a team of small unmanned air vehicles. International Journal of Systems Science, 2006, 37(6), pp. 351–360.
27. Akhloufi, M. A., A. Couturier, N. A. Castro. Unmanned aerial vehicles for wildland fires: sensing, perception, cooperation and assistance. Drones, 2021, 5(1), 15.
28. Chen, T., C. Guestrin. XGBoost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, San Francisco, 2016, pp. 785–794.
29. Lundberg, S. M., S.-I. Lee. A unified approach to interpreting model predictions. Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NIPS 2017), Long Beach, 2017, pp. 4765–4774.