

CZU: 629.73:581.9:502.62(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2023_07](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2023_07)

OPORTUNITĂȚI DE UTILIZARE ÎN PRACTICĂ A TEHNOLOGIILOR INTELIGENTE ÎN EVALUAREA UNOR VARIABLE BIOLOGICE

Ana BÎRSAN, Veaceslav SPRINCEAN, Ion GANEA

Universitatea de Stat din Moldova

Tehnologiile avansate bazate pe UVA au fost utilizate pentru monitorizarea unor ecosisteme naturale și artificiale din aria protejată Rezervația Natural-Culturală Orheiul Vechi. Analiza unor variabile biologice cu rol hotărâtor în asigurarea sustenabilității ecosistemelor s-a efectuat cu ajutorul camerelor multispectrale. Metodele utilizate au oferit posibilitatea identificării elementelor principale ale zonei studiate și au permis clasificarea acestora în patru clase principale de utilizare/acoperire a terenurilor: 1) teren acoperit cu vegetație spontană (ierburi, arbuști și arbori), 2) teren agricol cultivat; 3) teren lipsit de vegetație; 4) teren cu construcții. Sensorii multispectrali s-au arătat a fi eficienți în identificarea diferitor componente ale mediului, demonstrând oportunități de utilizare a acestora în menținerea și îmbunătățirea calității serviciilor ecosistemice și utilizarea durabilă a resurselor naturale.

Cuvinte-cheie: Vehiculele Aeriene fără Pilot, indici de vegetație, arie protejată, monitoring.

OPPORTUNITIES FOR USE IN PRACTICE OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN THE EVALUATION OF SOME BIOLOGICAL VARIABLES

Advanced technologies based on UVA were used to monitor some natural and artificial ecosystems in the Orheiul Vechi Natural-Cultural Reserve protected area. The analysis of some biological variables with a decisive role in ensuring the sustainability of ecosystems was carried out with the help of multispectral cameras. The methods used offered the possibility of identifying the main elements of the studied area and allowed their classification into four main classes of land use/coverage: 1) land covered with spontaneous vegetation (grasses, shrubs and trees); 2) cultivated agricultural land; 3) land devoid of vegetation; 4) land with constructions. Multispectral sensors have been shown to be effective in the identification of different components of the environment, showcasing opportunities for their use in the maintenance and improvement of the ecosystem services' quality and the sustainable use of natural resources.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, vegetation indices, protected area, monitoring.

Introducere

Actualmente, tehnologiile moderne atestă o expansiune vertiginoasă, fiind utilizate pe larg în diverse activități umane, oferind un suport informatic solid în luarea deciziilor pentru monitorizarea și evaluarea stării ecosistemelor naturale și a celor artificiale [1]. Grație eficienței, rapidității și costului relativ mic de exploatare, acestea sunt utilizate în diverse sfere, inclusiv în gestionarea resurselor ecosistemice, cartografierea terenului, colectarea datelor de mediu, în aplicațiile de cercetare și în aplicațiile directe de conservare a naturii [1, 2]. Tehnologiile avansate au devenit deosebit de utile în agricultură. Astfel, noua paradigmă a dezvoltării durabile în agricultură implică dezvoltarea tehnologiilor imagistice avansate, obținute cu ajutorul dronelor, a roboticii, a senzorilor și a produselor software, fiind puternic dependentă de cunoștințele științifice cu implicarea progresivă a celor din domenii precum *Big Data*, inteligența artificială și a altor ramuri ale științelor informației. În acest sens, managementul agricol inteligent din era *IoT* (în engleză: *Internet of Things* – Internetul Lucrurilor) combină diverse echipamente avansate și tehnici agricole, agricultura digitală integrând conceptele agriculturii de precizie și ale agriculturii inteligente.

În agricultura de precizie, dronele echipate cu utilaj optoelectronic de înaltă rezoluție reprezintă un instrument revoluționar în obținerea datelor cu referire la creșterea și dezvoltarea plantelor, starea lor fiziologică pe durata perioadei de vegetație și posibilitățile de stimulare a potențialului genetic pentru obținerea unor recolte sporite, prezentând avantaje semnificative datorită capacității de a furniza rapid date precise și detaliate despre starea agrocenozelor. În ultimii ani, acestea tot mai mult sunt implicate în diverse lucrări agricole: însămânțarea terenului, irigarea, fertilizarea, protecția integrată a plantelor etc. Atunci când sunt

combinat cu serviciul de comunicații, care permite automatizarea inteligentă prin integrarea Inteligenței Artificiale, dronele pot fi extrem de utile într-o varietate de aplicații tehnologice, economisind timpul și resursele umane și cele materiale [3].

Dezvoltarea recentă a platformelor de **Sisteme Aeriene Fără Pilot** (*Unmanned Aircraft System - UAS*), care integrează **Vehicule Aeriene Fără Pilot** (*Unmanned Aerial Vehicle - UAV*), numite drone, precum și controlerul fizic, operatorul uman și chiar orice sateliți sau dispozitive de procesare a informației (calculatoare), necesare proceselor avansate, pune la dispoziție instrumente eficiente pentru supravegherea aeriană a culturilor agricole și efectuarea lucrărilor necesare, iar utilizarea imagisticii hiper/multispectrale permite obținerea unor rezultate științifice valoroase, de înaltă precizie datorită diversificării și majorării numărului de teste experimentale efectuate în spațiu și timp real [4]. Astfel, în timp ce agricultura tradițională se bazează pe metode laborioase de cercetare a proceselor fiziologo-biochimice și a trăsăturilor morfologice ale plantelor, care implică eșantionarea manuală și, în unele cazuri, solicită abordări individualizate, **platformele de teledetecție ale vehiculelor aeriene fără pilot** (*Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Platforms - UAV-RSP*) [5], echipate cu diferiți senzori, prin care caracteristicile obiectelor analizate se pot identifica, măsura și analiza fără contact direct, de la distanță, furnizează date cu rezoluție înaltă și oferă soluții eficiente pentru fenotiparea rapidă, folosind unicitatea reflexiei și a emisiei luminii.

În ariile protejate, varietatea informațiilor culese cu ajutorul dronelor reprezintă o oportunitate excelentă de a monitoriza integritatea ecologică a ecosistemelor, capacitățile dronelor oferind o alternativă pentru a asista prelevarea de probe cu referire la structura și compoziția floristică a zonelor studiate, documentarea monumentelor naturii și siturilor culturale, pentru estimarea și prognozarea vulnerabilității ariilor protejate și asigurarea explorării durabile a resurselor naturale. În scopul realizării unui studiu prospectiv privind utilizarea tehnologiilor inteligente de monitorizare a ecosistemelor din ariile protejate, s-a cercetat zona localizată la poalele a doi versanți, delimitată de râul Răut, de lângă satul Morovaia, cu un peisaj complex ce se găsește într-o dinamică accentuată determinată de condiții naturale și antropice. Zona de studiu reprezintă o parte componentă a Rezervației Cultural-Naturală „Orheiul Vechi”.

Metodologia studiului

Zona protejată cuprinde bunuri de patrimoniu istorico-cultural (situri arheologice, complexe rupestre, complexe de arhitectură vernaculară, obiective etnografice), bunuri de patrimoniu natural (ansambluri geologice și peisagistice, de floră și faună), suprafețe terestre și acvatice în care se efectuează valorificarea reglementată a resurselor naturale, se practică activități agricole, industriale și turistice. Segmentul selectat se distinge și prin prezența unor specii de plante invazive de îngrijorare pentru UE. Evaluarea diversității floristice în condiții de teren a fost realizată prin observarea directă (semnalarea vizuală) pe parcursul anilor 2021-2022 [6]. Observațiile cu ajutorul dronelor asupra ariei luate în studiu au fost efectuate în toamna anului 2022, în luna septembrie, perioadă în care pot fi atestate diferențe semnificative în starea ecosistemelor naturale, cât și în starea ecosistemelor artificiale.

Analiza multispectrală s-a realizat cu ajutorul aparatului de zbor DJI Phantom 4 Multispectral, Sistemul este compus dintr-o dronă (UAV) ce realizează activități de aerofotografiere și filmări aeriene pretabile pentru prelucrarea datelor în vederea obținerii de informații legate de creșterea și sănătatea plantelor, monitorizare de mediu etc. Phantom 4 Multispectral (P4M) include un modul RTK complet integrat care oferă informații de poziție centimetrice în timp real pentru a obține o precizie foarte mare. De asemenea, include un modul GNSS redundant datorită căruia este posibilă menținerea stabilității zborului în locuri cu semnal slab. Drona se adaptează oricărui flux de lucru și se poate conecta în mai multe moduri:

- conectare la stația mobilă D-RTK 2 (asemenea unui sistem baza-rover);
- conectare prin protocol NTRIP (Rețeaua de transport RTCM prin Internet Protocol). Se poate folosi sistemul național „Moldpos”. Conexiunea se poate realiza prin 4G (USB dongle), Wi-Fi, OcuSync sau LAN, ceea ce garantează o transmisie de date stabilă și neîntreruptă. Serviciul TimeSync sincronizează continuu controlerul de zbor, camera și modulul RTK, pentru a profita la maxim de modulele de poziționare ale P4M. P4M include o cameră cu 6 senzori 1/2.9. CMOS ce include și RGB. Fiecare cameră are 2.08 MP (Albastru, Verde, Roșu, Roșu-apropiat, Infraroșu-apropiat și RGB). Parametrii camerei sunt: (Red Edge (RE): 730nm (± 16nm) Near Infrared (NIR): 840nm (± 26nm) Green (G): 560nm (± 16nm) Visible Light

(RGB) Red (R): 650nm (± 16 nm) Blue (B): 450nm (± 16 nm).

Aparatul de zbor fără pilot UAV deține și senzor de soare integrat pentru rezultate precise. Un senzor spectral de soare integrat pe partea de sus a dronei captează radiația solară, maximizând acuratețea și consistența colectării datelor în diferite momente ale zilei. Combinate cu datele post-procesate, aceste informații permit obținerea celor mai precise valori NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Sistemul DJI TimeSync asigură obținerea datelor de poziție și măsurători precise la centimetri în timp real, pentru fiecare dintre cele șase camere. Sistemul TimeSync aliniază continuu controlerul de zbor, camerele RGB și NB și modulul RTK pentru a se asigura că fiecare fotografie utilizează metadatele cele mai precise și fixează datele de poziție în centrul CMOS. Toate camerele trec printr-un proces de calibrare riguros care măsoară distorsiunea radială și tangențială a lentilei. Parametrii de distorsiune sunt stocați în metadatele fiecărei imagini, astfel încât software-ul (**Pix4Dmapper**) de post-procesare poate fi personalizat pentru fiecare utilizator.

Maparea profesională a imaginilor preluate cu ajutorul dronelor s-a realizat cu software fotogrammetric **Pix4Dmapper**, care transformă imaginile în modele digitale spațiale, atât prin soluții hardware locale, cât și cu ajutorul tehnologiei cloud, datele putând fi exportate în formate standard, salvate în cloud sau partajate cu diferiți colaboratori. Pix4Dmapper procesează date provenite din imagini preluate de la orice cameră, dronă și orice tip de imagistică: imagini RGB, imagini dronă, imagini multispectrale, imagini termice, imagini „fisheye”, imagini 360°, videoclipuri.

Rezultate și discuții

Principalele metode, adoptate pentru monitorizarea vegetației prin teledetecție UAV, includ analiza imaginilor, metoda modelului fizic, metoda statistică empirică și metoda avansată de analiză a datelor, cum ar fi învățarea automată [7]. Senzorii selectivi colectează imagini vizibile de înaltă rezoluție pentru modelarea unor indici biologici (suprafeței, înălțimii, biomasei plantelor etc.). Spectroscopia în diapazonul vizibil-infraroșu apropiat este utilizată pentru identificarea stării fiziologice a plantelor; imagistica termică - pentru detectarea stresului hidric; ansamblul de teste pentru **Detectarea și Măsurarea Luminii - LIDAR (Light Detection and Ranging)** poate fi utilizat pentru a măsura cu mare precizie parametrii biometrici ai plantelor la scară fină [8], iar prelevarea imaginilor **IR (InfraRed - infraroșu)** și combinarea acestora cu alți indici permite estimarea umidității solului și a parametrilor morfologici ai plantelor [4].

Menționăm că există, încă, o lipsă de validare prin UAV pentru fenotiparea pe terenuri a căror vegetație este constituită dintr-un număr mare de specii/soiuri de plante. În asemenea condiții, acuratețea datelor obținute cu ajutorul teledetecției UAV este redusă, diferențele fiind cauzate de diversitatea culturilor agricole, de specificul anotimpului, de variația condițiilor de mediu, dar și de etapa de vegetație a plantelor. Specificăm că, factorii limitatori pentru fenotiparea câmpului cu UAV includ stabilitatea în spațiu și capacitatea scăzută a UAV-urilor, reglementările stricte ale spațiului aerian, lipsa metodelor de procesare rapidă a datelor și a modelelor pentru estimarea trăsăturilor complexe în diferite condiții de mediu. De asemenea, limitările operaționale și de rezoluție ale senzorilor pentru captarea unei game largi de benzi de lumină la fluctuații a reflectanței creează unele dificultăți în rezolvarea problemelor complexe legate de evaluarea anumitor particularități genetice ale plantelor. Totuși, în unele condiții, datele legate de informațiile spectrale (reflexie, emisie) ale plantelor au demonstrat o acuratețe bună. În opinia cercetătorilor, este de așteptat ca, odată cu avansarea UAV-urilor cu sarcină utilă mai mare, cu parametri de zbor avansați, senzori cu sensibilitate selectivă, metode îmbunătățite de procesare a imaginilor 2D și 3D și reglementări eficiente ale spațiului aerian, va crește și potențialul pentru aplicații mai largi în fenotiparea cu ajutorul UAV [8].

Fenotiparea obținută cu ajutorul aparatelor UAV-RSP include, dar nu se limitează doar la aprecierea trăsăturilor morfologice. Parametrii fiziologo-biochimici: conținutul de clorofilă, activitatea fotosintetică, cantitatea de substanțe minerale și de apă din plante pot fi cuantificate neinvaziv prin măsurarea variațiilor în reflectanța spectrală [9], oferind informații fundamentale pentru aprecierea stării normale a plantelor, dar și cu referire la amplitudinea răspunsului plantelor la stresul abiotic/biotic, cât și la administrarea elementelor minerale. Aceste informații sunt extrem de necesare pentru predicția randamentului plantelor și, respectiv, a ecosistemelor.

Numeroase studii au demonstrat că randamentul culturilor agricole poate fi prezis prin corelarea parametrilor fiziologici ai plantei cu indicii de vegetație, selectați experimental (empiric) și calculați pentru

valori ale reflectanței la diferite lungimi de undă. Este cunoscut faptul că reflectanța spectrală a vegetației este dependentă de capacitatea pigmentilor clorofilieni de a absorbi selectiv razele solare pentru a realiza procesul de fotosinteză [10]. Deoarece pigmentii clorofilieni prezintă maxime de absorbție în spectrul albastru și roșu și nu absorb în spectrul verde și infraroșu apropiat, reflectanțele în benzile de verde, roșu și infraroșu apropiat sunt utilizate pe scară largă pentru studiul vegetației [11].

Structura vegetației este caracterizată prin poziția, orientarea, mărimea și forma elementelor de vegetație. Arhitectura structurii vegetale se modifică cu timpul, de la fracțiuni de secunde și minute, în dependență de acțiunea unor factori (vânt, stres hidric etc.) la sezon (evoluție fenologică, constrângeri de mediu) și ani (dinamicele ecosistemului). Din acest motiv, alegerea unui indice de vegetație pentru monitorizarea plantelor depinde de scopul și domeniul cercetărilor, dar și de particularitățile biologice ale speciilor, și de stadiul de dezvoltare al plantelor. Menționăm că unii indici, fiind folosiți de sine stătător, oferă suficientă informație pentru monitorizarea plantelor, în cea mai mare parte a sezonului de vegetație. Însă, deoarece ciclul vital al plantelor include mai multe etape distincte, pentru a fi mai informativi, indicii utilizați în monitorizarea plantelor, la diferite etape de dezvoltare, necesită ajustări sau pot fi folosiți în combinație cu alte variabile.

În studiul de față sunt descrise oportunitățile de integrare a dronelor în ariile protejate, fiind prezentată descrierea celor mai informativi indici, utilizați în monitorizarea stării ecosistemelor cu ajutorul UAV.

Din multitudinea de variabile biologice, conținutul de clorofilă reprezintă parametrul cel mai important în evaluarea stărilor fiziologice ale plantelor. Aprecierea performanțelor fotosintetice ale plantelor în baza măsurătorilor de reflectanță cu rezoluție spectrală înaltă a arătat o capacitate puternică de a detecta variațiile fine ale caracteristicilor de absorbție spectrală legate de modificările clorofilei [12-14].

Dintre indicii multispectrali [15], cel mai frecvent utilizat pentru a monitoriza vegetația este **Indicele Normalizat de Diferențiere al Vegetației (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI)** [16]. Acesta reprezintă raportul normalizat dintre reflectanța măsurată pentru benzile **Roșu (Red)** și **Infraroșu apropiat (Near Infrared - NIR)**, bazându-se pe principiul absorbției energiei cuantelor de lumină de către moleculele de clorofilă în spectrul roșu și reflexiei acestora în infraroșu. Scara valorilor indicelui este cuprinsă între -1 și +1. Valorile de la -1 la 0 sunt caracteristice materiei nevii (pietre, drumuri, case, apă, zăpadă etc.), iar intervalul de la 0 la 1 este caracteristic materiei vii. Valorile NDVI mai mici de 0.1 corespund zonelor fără vegetație, valorile cuprinse între 0.2 și 0.3 corespund zonelor cu arbuști și pajisti, valorile cuprinse între 0.6 la 0.8 corespund zonelor acoperite de păduri. La interpretarea indicelui trebuie luată în considerare faza fenologică a plantelor. Bunăoară, în agrocenoze, două câmpuri adiacente cu aceeași cultură, dar care se află în stadii diferite de dezvoltare, vor avea valori NDVI diferite. Valoarea mai mare (mai aproape de +1) se va înregistra la etapa în care se atestă valori maxime ale biomasei verzi a organelor vegetative și este asociată cu o activitate fotosintetică mai înaltă a plantelor. Astfel, bazat pe variația conținutului de clorofilă din frunze, NDVI arată vigoarea plantelor, oferind totodată informații valoroase despre densitatea vegetației și gradul de dezvoltare a acesteia, dar și cu referire la severitatea pierderilor cauzate de factorii stresogeni abiotici și biotici. Cu cât valorile NDVI sunt mai înalte (0.5-0.85), cu atât vegetația este mai sănătoasă. La etapa de senescență valorile scad până la 0.3-0.35, indicând asupra necesității recoltării culturilor.

Indicele de vegetație ajustat la sol (Soil-Adjusted Vegetation Index - SAVI) este similar cu NDVI, însă aplică un factor de corecție, ținând cont de luminozitatea solului. SAVI este folosit pentru a elimina efectul de bruijă cauzat de reflectanța solului [17]. Pentru managementul culturilor este utilizat **indicele optimizat de vegetație ajustat la sol (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index - OSAVI)**. În formula sa intervine parametrul L , care este o constantă empirică cu valori de 0, 0.5 sau 1, în funcție de densitatea vegetației. În plantațiile aflate la stadiul inițial de dezvoltare sau în podgorii, în prima jumătate a sezonului, când o bună parte a terenului este dezgolit, acest indice este utilizat pentru a minimaliza influența reflectanței solului. Există mai multe versiuni de SAVI: indicele ajustat la umiditate (**Moisture Adjusted Vegetation Index – MSAVI**) [18] și indicele modificat (**Modified Soil Adjusted Vegetation Index - MASAVI2**) [19]. Informațiile valoroase obținute cu ajutorul MSAVI permit selectarea culturilor celor mai potrivite pentru un anumit câmp și contribuie la înțelegerea mai bună a modului de gestionare a culturilor în anumite zone de cultivare. Astfel, la etapele inițiale de creștere a plantelor, **MSAVI** poate fi utilizat pentru a detecta gradul de uniformitate a răsării plantelor și pentru a reduce efectul solului asupra calculului densității vegetației,

atunci când fruzele plantelor sunt încă slab dezvoltate. Pe parcursul perioadei de vegetație, când unii indici (NDVI și NDRE) nu prezintă acuratețe suficientă, MSAVI oferă o imagine validă a sănătății culturilor, indicând și asupra stărilor de stres, cauzate de diverși factori (frig, căldură, exces sau lipsă de umiditate, carențe nutritive sau aplicarea incorectă a îngrășămintelor etc). Valorile MSAVI variază de la -1 la +1. Intervalul -1 până la 0,2 indică solul gol; 0,2 până la 0,4 - stadiul de germinare a semințelor; 0,4 până la 0,6 - stadiul de dezvoltare a frunzelor. De subliniat însă că, atunci când vegetația este suficient de densă și acoperă o bună parte a solului, iar valorile depășesc 0,6, se recomandă de a utiliza NDVI. La sfârșitul sezonului, indicele MSAVI poate fi aplicat pentru a aprecia starea de maturitate a culturilor și termenii mai exacti de recoltare.

Pentru estimarea cantității de biomasă [20] este utilizat **Indicele Îmbunătățit al Vegetației (Enhanced Vegetation Index - EVI)** [21] folosit pentru cuantificarea intensității culorii verzi a vegetației [22]. **EVI** este dezvoltat pentru optimizarea semnalului vegetației în zonele cu biomasă abundentă [23-25]. Astfel, în zonele cu densitate mare a plantelor, unde indicele suprafeței frunzelor (LAI) este ridicat, rezultatele indicelui NDVI poate fi optimizat, folosind pe lângă benzile spectrale roșu și infraroșu apropiat și informații din regiunea de reflexie în albastru, pentru a corecta semnalele de fundal ale solului și pentru a reduce efectele atmosferice, inclusiv împrăștierea aerosolilor. Intervalul de valori pentru EVI este de la -1 la +1, unde vegetația sănătoasă se încadrează în intervalul 0,20-0,80 [23,26]. Spre deosebire de Indicele Normalizat de Diferențiere al Vegetației, Indicele Îmbunătățit al Vegetației este influențat mai mult de forma coronamentului, arhitectura și fenotipul plantelor decât de conținutul de clorofilă.

Totuși, o abordare mai potrivită este considerată aprecierea unui alt indice, **NDSI (Normalized Difference Snow Index)** [27], care permite determinarea speciilor de plante pe baza variației conținutului de pigmenți asimilatori (clorofilieni și carotenoizi) [28]. În plus, o sensibilitate îmbunătățită a imaginilor multispectrale individuale (înainte de a obține un NDSI) poate fi realizată prin efectuarea unei analize statistice preventive a componentelor principale, aplicate adesea în analiza și clasificarea imaginilor pentru a reduce cantitatea de informații nerelevante.

La sfârșitul sezonului de vegetație, începând cu mijlocul sezonului până când plantele se maturizează și sunt gata de a fi recoltate, un alt indice - **NDRE (Normalized Difference Red Edge)** [15], deosebit de sensibil la concentrația de clorofilă din frunze, este mai indicat pentru analiza stării culturilor. În timp ce NDVI este capabil să măsoare densitatea plantelor și intensitatea culorii verzi în ansamblu pe câmp, în straturile superioare ale plantelor, NDRE este conceput pentru a „vedea” mai profund în coronamentul vegetației. Indicele este reprezentat de o anumită valoare calculată, folosind o combinație între o bandă **Near-Infrared (NIR)** și intervalul **RedEdge (marginea între Roșu vizibil și NIR)** [26]. Cu ajutorul acestui indice se obțin date cu referire la gradul de maturitate a plantelor, a recoltei, dar și cu referire la gradul de infestare a câmpului. Intervalul de valori se situează între -1 și +1. Valorile mici pozitive indică asupra existenței unor probleme (plante bolnave, plante deteriorate, carențe nutritive etc). Valorile de la -1 până la 0,2 indică un sol gol sau o cultură la etapele inițiale de dezvoltare, de la 0,2 până la 0,6 - plante deteriorate, nesănătoase, stesate, sau plante nemature, de la 0,6 la 1 - plante sănătoase, mature. Diferențele indicelui NDRE pot fi date de o etapă diferită de dezvoltare a plantelor, carența de nutrienți sau de aspectul și starea frunzelor afectate de patogeni. S-a stabilit că, pe măsură ce plantele se maturizează, conținutul lor de clorofilă scade, iar indicele NDRE returnează valori eronate. În mod similar, valorile NDVI devin din ce în ce mai puțin precise din cauza ofilirii plantelor sau căderii frunzelor bătrâne. Aceasta duce la creșterea gradului de dezgolire a solului. În acest caz, se recomandă de utilizat indicele MSAVI, ce furnizează date mai precise despre starea de sănătate a culturilor. Aceste informații sunt deosebit de necesare pentru a interveni într-un mod țintit în evoluția bolii și permit de a ameliora starea plantelor pe întregul câmp, evitând risipa de fitochimicale.

Un bun indicator al eficienței utilizării luminii care estimează concentrația de clorofilă în frunză este **Indicele de reflectare fotochimică (Photochemical Reflectance Index - PRI)** [29].

Un alt indice, indicele **Conținutului de Clorofilă al Învelișului Foliar (Canopy Chlorophyll Content Index - CCCI)** măsoară cantitatea de clorofilă din plantă [30], oferind totodată informații despre cantitatea de azot asimilat. Pe măsură ce valoarea acestui indice se reduce, scade și vigoarea plantei [31], prin urmare, este posibil de a estima necesitatea fertilizării și cantitățile exacte de substanțe necesare plantelor, în funcție de calitatea solului [32].

La rândul său, starea clorofilei poate fi monitorizată cu ajutorul indicelui **CARI (Chlorophyll Absorption Ratio Index)** care măsoară nivelul de absorbție a clorofilei la lungimea de undă de 670 nm raportat la vârful de reflectanță de verde la 550 nm și reflectanța la 700 nm [33]. Prin simplificarea indicelui CARI s-a obținut indicele modificat **MCARI (Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index)** sensibil la concentrația de clorofilă și la variația suprafeței frunzelor (LAI). Acest indice nu este influențat nici de nivelul de iluminare, nici de alte variabile nefotosintetice, precum solul [14,33].

Un alt indice, **Indicele de Vegetație a Diferențelor Normalizate în Verde (Green Normalized Difference Vegetation Index – GNDVI)** [14, 26] folosește banda verde în loc de roșu. Acest indice este similar cu NDVI, însă fiind mai sensibil la concentrația de clorofilă, el se utilizează pentru evaluarea vegetației deteriorate și îmbătrânite, aprecierea nivelului de umiditate și de asimilare a azotului de către plante. Analizat, de preferință, la etapele inițiale ale dezvoltării plantelor și în prima jumătate a sezonului, el permite evaluarea prezenței apei în câmp și a modului în care are loc utilizarea acesteia, oferind informații privitor la necesitatea irigațiilor, precum și a fertilizării câmpului, printr-o distribuție diferențiată în funcție de zonă.

Informații asupra stării apei în învelișul foliar se pot obține prin intermediul **indicilor WBI (Water Band Index)** și **WMI (Water Moisture Index)** [34, 35]. Un indicator sensibil al creșterii conținutului de apă al frunzelor este **Indicele de Stres la Umiditate (Moisture Stress Index - MSI)**. Pe măsură ce conținutul de apă din frunze crește, crește și absorbția cuantelor de lumină. MSI folosește canalele NIR și **Indicele de Vegetație Bazat pe Infraroșu cu Unde Scurte (Short Wave Infrared – SWIR)** [36] pentru a măsura conținutul de apă în plante, pixel cu pixel, cu un algoritm simplu. Aplicațiile MSI includ analiza nivelului de stres, predicția și modelarea productivității, pericolul de incendiu și evaluarea stării ecosistemelor. Valorile acestui indice variază de la 0 la mai mult de 3. Intervalul caracteristic pentru vegetația sănătoasă este de la 0.4 la 2 [15, 38].

Poluarea atmosferei cu diverse particule mărește dispersia radiației, ceea ce modifică semnătura spectrală a acoperirii reale cu vegetație, detectate de senzor. Pentru a reduce aceste efecte, se utilizează **Indicele de Vegetație Rezistent la Atmosferă (Atmospherically Resistant Vegetation Index - ARVI)**, care ia în calcul unele efecte ce au loc în atmosferă și folosește în formula sa reflexia în albastru [38]. Rezistența mai bună a ARVI la efectele atmosferice (în comparație cu NDVI) se realizează printr-un proces de autocorecție a efectului atmosferic asupra canalului roșu, folosind diferența de strălucire dintre canalele albastru și roșu pentru a corecta strălucirea în canalul roșu [39].

Nivelul de stres poate fi sesizat printr-o scădere progresivă a reflectanței în domeniul NIR, însoțită de o creștere a acesteia în domeniul SWIR [40]. Astfel, mai mulți cercetători au luat în calcul unele variabile derivate din reflectanța luminii, pentru a selecta genotipurile tolerante la stresul abiotic [41]. Unii cercetători au aplicat particularitățile imagisticii multispectrale derivate, cu ajutorul UAV, pentru fenotiparea precisă și rapidă a dinamicii creșterii grâului, iar spectrele indicilor de clorofilă au fost utilizate ca indicatori inteligenți la diferențierea gradului de senescență a genotipurilor expuse la secetă și la stresul termic [9]. S-a demonstrat că, în comparație cu colectarea manuală de date, metoda bazată pe imagini UAV este fezabilă, convenabilă, avansată din punct de vedere tehnologic, mai ieftină din punct de vedere economic și cu mai bune perspective de aplicare pe scară largă, spre exemplu, pentru evaluarea uniformității plantațiilor [41]. De asemenea, datele de reflectanță spectrală provenite din imaginile UAV sunt un instrument valoros pentru monitorizarea nutriției plantelor, tendințele de reducere a aplicării îngrășămintelor pe bază de azot în agricultura ecologică, aducând beneficii atât economice, cât și de mediu. S-a stabilit că, utilizând senzori spectrali multifuncționali se poate evalua în mod adecvat distribuția spațială a azotului.

UAV-urile sunt frecvent folosite pentru monitorizarea plantațiilor de pe terenurile deluroase, mai greu accesibile. În livezi și podgorii, dronele au fost utilizate în scopul analizei indicilor solului, problemelor de combatere integrată a dăunătorilor, diferențelor de maturitate a fructelor [42, 43].

Există o gamă largă de senzori pentru monitorizarea ecosistemelor forestiere cu ajutorul UAV, dintre care cei mai des întâlniți sunt RGB, receptorii multispectrali și hiperspectrali. Totuși, din cauza rezoluției lor spectrale scăzute, senzorii RGB sunt nepotriviți pentru a monitoriza diversitatea floristică a pădurilor, în timp ce senzorii cu bandă largă de sensibilitate nu permit monitorizarea pe termen lung a acestora [44], dar în prezent, se atestă o creștere exponențială de utilizare a senzorilor cu bandă supra largă de sensibilitate pentru recunoașterea speciilor [3, 29-32], în special, pentru determinarea speciilor dominante etc. Determinarea

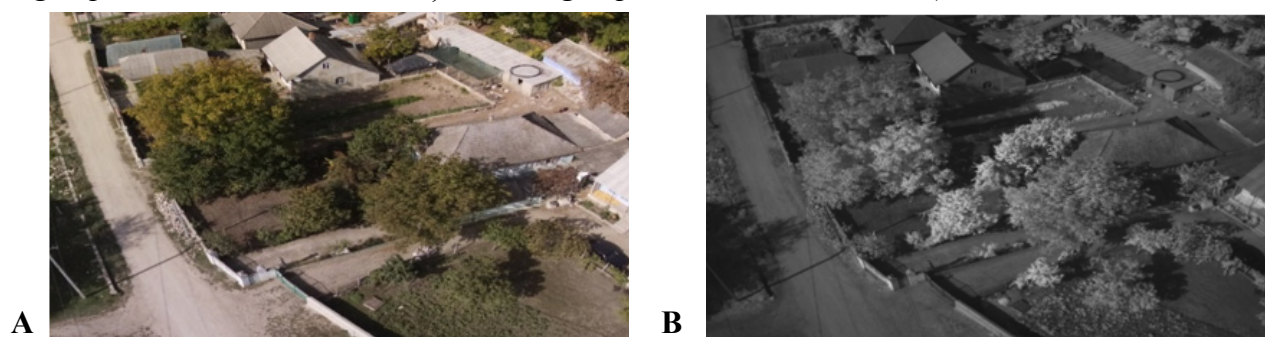
structurii și a compoziției pădurilor prin teledetecție se bazează pe principiul individualității profilului spectral al fiecărei specii de arbori. Sensorii (camera RGB), permit măsurarea răspunsului spectral unei anumite specii de arbori și al unui arbore particular într-un interval specific de lungimi de undă a radiației electromagnetice de la 400 nm până la 760 nm. Discriminarea speciilor de arbori se realizează în baza diferențelor spectrelor de reflexie difuză/emisie luminiscentă al fiecărui copac în parte. Astfel, imaginile UAS cu rezoluție spațială de ordinul unităților de centimetru sunt foarte promițătoare pentru discriminarea speciilor forestiere [43]. Este cunoscut faptul că fenologia arborilor variază în funcție de numeroși factori care interacționează, inclusiv condițiile ecologice, microclimatul sau starea fiziologică a arborelui. Astfel de diferențe sunt mai pronunțate la momentul înfrunzirii, înfloririi și fructificării, sau a colorării frunzișului, la etapa de senescență [34, 44]. Particularitățile caracteristicilor spectrale și tehnologice caracteristice diferitor spectre de arbori sunt factorii care permit diferențierea categoriilor de arbori [45]. Cu toate acestea, pentru a obține imagini integrale, imagistica hiperspectrală necesită utilizarea multor sute de benzi spectrale, fapt care este greu de realizat din punct de vedere computațional, solicită mult timp, resurse de calcul vaste și experiență practică pentru a interpreta datele. Cei mai promițători senzori UAV sunt senzorii multispectrali, cu care se pot obține imagini pe diferite benzi spectrale din regiunea vizibilă și NIR cu rezoluție spectrală satisfăcătoare aplicabilă pentru monitorizarea ecosistemelor [27].

Monitorizarea patrimoniului cultural-natural reprezintă condiția de bază a conservării Rezervației Naturale - Culturale „Orheiul Vechi”. Din aceste considerente, identificarea modalităților de monitorizare a ariei protejate cu ajutorul tehnologiilor avansate, bazate pe UAV, reprezintă o abordare inovativă, iar argumentele prezentate în studiul de față vin întru susținerea posibilității utilizării în acest scop a indicilor descriși mai sus. Menționăm că informațiile obținute cu ajutorul teledetecției referitor la structura și compoziția floristică sunt extrem de valoroase pentru inventarul ariilor protejate, din interacțiunea componentelor biotice și abiotice, în mare măsură, rezultând multe alte caracteristici ale ecosistemelor. În opinia unor autori, din perspectivă ecologică, analiza relației dintre acoperirea terenurilor constituie punctul cheie pentru monitorizarea, în general, a stării ecosistemelor și, în special, a celor din cadrul zonelor protejate, eterogene și supuse presiunii antropice [46].

Cercetările efectuate de noi cu referire la analiza particularităților spectrale ale vegetației s-au realizat la etapa de senescență, atunci când fenologia plantelor variază semnificativ, datorită colorării frunzișului, diferențele fiind mai pronunțate, ceea ce permite diferențierea categoriilor de plante și a stării lor de sănătate. În afară de evidențierea prezenței și a stării vegetației, datele multispectrale obținute în infraroșu apropiat au oferit posibilitatea identificării și a altor elemente principale ale zonei: drumuri, case de locuit etc. și au permis clasificarea acestora în patru clase principale de utilizare/acoperire a terenurilor: 1) teren acoperit cu vegetație spontană (ierburi, arbuști și arbori), 2) teren agricol cultivat; 3) teren lipsit de vegetație; 4) teren cu construcții.

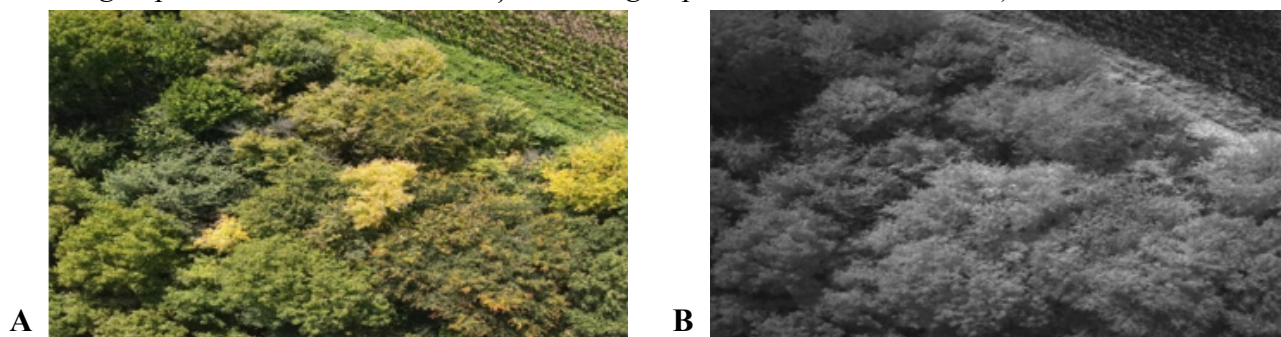
Metoda utilizată de teledetecție a permis evidențierea suprafețelor acoperite cu vegetație atât în localitate, dar și din apropierea localității, în spațiile ocupate de vegetația spontană, cât și pe terenurile agricole. Din date de teledetecție se pot extrage parametri biofizici, biologici sau structurali ai vegetației. Astfel, după cum era de așteptat, în baza gradului de reflexie a radiației electromagnetice, compararea imaginilor A și B, redată în Figura 1, denotă prezența plantelor cu grad diferit de vitalitate. Nuanțele luminoase de gri deschis spre alb, în imaginea B, atestă existența unor specii de plante cu un coronament bine dezvoltat, o biomasă abundentă și un conținut de clorofilă sporit.

Figura 1. Determinarea stării de sănătate a plantelor cu ajutorul aparatului multispectral (A – imagini prelevate cu camera RGB și B – imagini prelevate cu camera NIR).



Totuși, analiza imagistică cu camera NIR (Figura 2) nu a permis stabilirea unor diferențe notabile între arborii din fâșia de pădure, din apropierea satului, nici pe terenul agricol cultivat cu porumb. Astfel, imaginea B din Fig. 2 demonstrează o omogenitate mare a nuanțelor atât pentru arborii cu frunzișul îngălbenit, cât și pentru cei cu coroana verde, dar și o omogenitate înaltă a nuanței de gri întunecat în lanul de porumb. În același timp, analiza gradientului nuanței de gri a permis de a evidenția gradul mai înalt de senescență a culturii agricole în comparație cu arborii din fâșia forestieră, nuanța de gri întunecat fiind datorată gradului de maturitate mai avansat al vegetației.

Figura 2. Fenotiparea speciilor din ecosistemele naturale și artificiale cu aparatul multispectral (A – imagini prelevate cu camera RGB și B – imagini prelevate cu camera NIR).



Indicele NDVI și NIR (Figura 3, 4) a pus în evidență valori mai mici redade prin culoarea roșie mai accentuată pentru construcțiile prezente în zonă, drumuri, poteci, cărări etc. Pe terenurile agricole, vegetația ilustrează zone cu un NDVI diferit. Zonele marcate cu roșu denotă un NDVI foarte scăzut, ceea ce indică asupra prezenței unor probleme determinate fie de maturarea neuniformă a plantelor în agrocezoză.

Figura 3. Determinarea indicelui NDVI cu ajutorul camerei multispectrale a aparatului de zbor DJI Phantom 4.

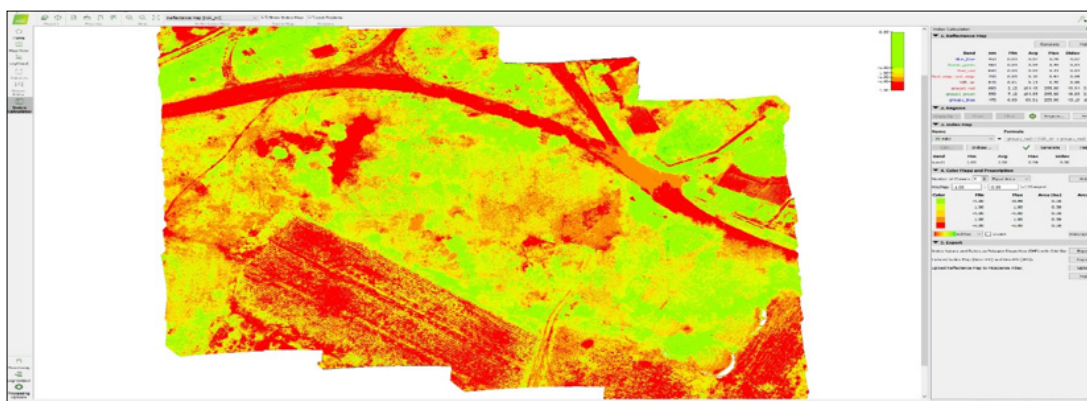
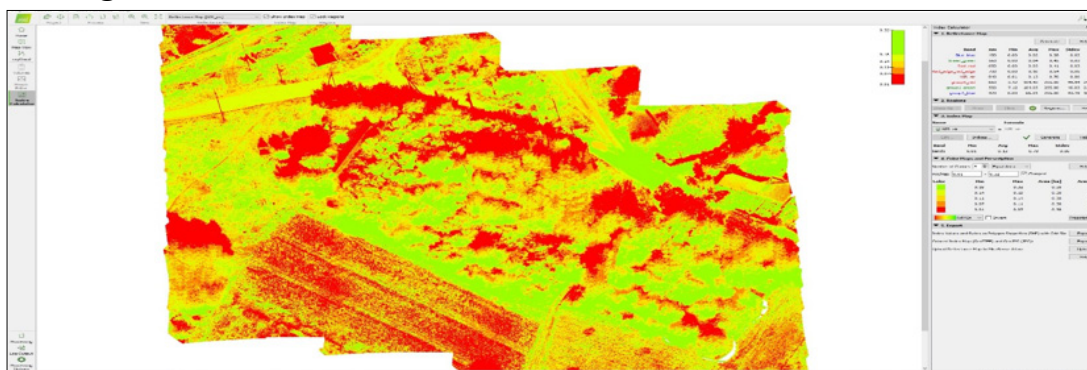


Figura 4. Imagine NIR.



Astfel, metodologia utilizată a permis evidențierea distinctă a elementelor de bază a zonei studiate, identificarea prezenței învelișului vegetal și a suprafețelor acoperite cu vegetație, evidențierea vitalității plantelor în agrocenoze și în flora spontană, datele colectate la moment însă nu au fost suficiente pentru discriminarea speciilor de plante. Aceasta indică asupra faptului că este necesar de a identifica metode mai potrivite pentru clasificarea speciilor de plante în plantațiile forestiere și în agrocenoze, spre exemplu, metoda de procesare a imaginilor multispectrale cu utilizarea algoritmului NDSI.

Concluzii

Tehnologiile avansate de teledetecție pe teren, alături de metodele și procedeele tradiționale de colectare a datelor evaluate prin observație și analiză directă, sunt de un real ajutor, în special, pentru rezolvarea problemelor ecosistemelor naturale și artificiale ce țin de protecția mediului și de conservarea biodiversității. Utilizarea dronelor în monitorizarea ecosistemelor oferă numeroase beneficii, contribuind la gestionarea eficientă a resurselor ecosistemice, la identificarea și soluționarea în timp util a problemelor legate de mediu, la dezvoltarea durabilă și sustenabilă a agriculturii, ca rezultat al monitorizării stării de sănătate a plantelor etc. Avantajele utilizării acestor tehnologii rezultă în economisirea resurselor umane, materiale, de cost, de timp etc.

Indicii descriși, fiecare în parte, oferă o anumită informație relevantă, însă pentru a obține cunoștințele cuprinzătoare este necesară o abordare holistică în care întregul este mai mare decât suma factorilor. Pentru a facilita procesarea datelor este necesară identificarea unui set de indici, gruparea acestora, ceea ce ar permite obținerea informațiilor suplimentare, mai complete și exacte referitor la variabilele obținute pentru fiecare parametru investigat și analiza diferențiată a variabilelor studiate, inclusiv identificarea și eliminarea datelor incomplete sau eronate.

Analiza informațiilor oferite de seturile de indici, obținute cu ajutorul tehnologiilor inteligente, oferă posibilitatea de pătrundere în esența lucrurilor, surprindere și înțelegere în profunzime a problemelor studiate - capacitate definită ca *perspicacitate*. Aceasta permite cercetătorilor, agricultorilor, autorităților să adapteze strategiile de dezvoltare la noile condiții, abordând problemele majore ale societății asociate cu sustenabilitatea mediului, bunăstarea socială și dezvoltarea economică.

Referințe:

1. SANDBROOK, C. The social implications of using drones for biodiversity conservation. In: *Ambio*, 2015, Nr. 44 Suppl 4, p. 636-47. DOI: 10.1007/s13280-015-0714-0.
2. DÍAZ-DELGADO, R., MÜCHER S. Editorial of Special Issue Drones for Biodiversity Conservation and Ecological Monitoring. In: *Drones*, 2019, 3(2):47. <https://doi.org/10.3390/drones3020047>
3. GALLEGO-MADRID J., MOLINA-ZARCA, A., SANCHEZ-IBORRA, R., BERNAL-BERNABE, J., SANTA, J., RUIZ, P. M., SKARMETA-GÓMEZ, A. F. Enhancing Extensive and Remote LoRa Deployments through MEC-Powered Drone Gateways. In: *Sensors*, 2020, Nr. 20(15), p. 4109. doi: 10.3390/s20154109.
4. YANG, G., et al. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. In: *Frontiers in Plant Science*, 2017, Vol. 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.01111. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01111>.
5. SANTAFE SANZ, F. J. Comprobación de requisitos alimentarios en campo mediante análisis de imágenes, p. 56. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/30736/TFM%20Fco%20Santafe%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. BÎRSAN, A. Specii de plante alogene invazive și potențial invazive în rezervația cultural-naturală „Orheiul Vechi”. În: *Studia Universitatis Moldaviae*, 2022, nr. 6(156), p. 64-71. ISSN 1814-3237 ISSN online 1857-498X. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7442419>
7. YANG, M. et al. Assessment of Water and Nitrogen Use Efficiencies Through UAV-Based Multispectral Phenotyping in Winter Wheat in Sec. In: *Technical Advances in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00927>. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00927/full>
8. WALLACE, L., LUCIEER, A., WATSON, C., TURNER, D. Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. In: *Remote Sensing*, 2012. nr. 4(6), p. 1519-1543. <https://doi.org/10.3390/rs4061519>

9. HASSAN, M.A, YANG, M., RASHEED, A., TIAN, X., REYNOLDS, M., XIA, X., XIAO, Y., HE, Z. Quantifying senescence in bread wheat using multispectral imaging from an unmanned aerial vehicle and QTL mapping. In: *Plant Physiol*, 2021, Nr. 187(4), p. 2623-2636. DOI: 10.1093/plphys/kiab431.
10. MERTON, R. N. Monitoring community hysteresis using spectral shift analysis and the red-edge vegetation stress index, 1998. NASA, Jet Propulsion laboratory, Pasadena, California, 12 p.
11. BERNARD, J-Ph. Indices de teledetection et agronomie. Application de la télédétection pour la réalisation de diagnostics agronomiques sur peuplement végétal, 2016, 16 p. https://opera-connaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=145896
12. DELEGIDO, J., VERGARA, C., VERRELST, J., GANDÍA, S., MORENO, J. Remote Estimation of Crop Chlorophyll Content by Means of High-Spectral-Resolution Reflectance Techniques. In: *Agronomy journal*, 2011, Vol. 103, Issue 6, p. 1834-1842. <https://doi.org/10.2134/agronj.2011.0101>
13. ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt, 1973, 10-14 December, SP-351*, p. 309-317.
14. LUCULESCU, M. C. Aplicații ale sistemelor mecatronice avansate în agricultură, industrie și medicină. TEZĂ DE ABILITARE. BRAȘOV, 2017, 129 p. https://www.unitbv.ro/documente/cercetare/doctorat-postdoctorat/abilitare/teze-de-abilitare/luculescu-marius/05-Luculescu-Teza_abilitare_RO.pdf
15. Index DataBase. <http://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=48>
16. PIROTTI, F. *Corso di Telerilevamento e Sistemi Informativi Territoriali*, Padova, 2019, 16 p.
17. RONDEAUX, G., RONDEAUX, S., BARET, M., BARET, F. (1996). Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. In: *Remote Sensing of Environment*, 1996, nr. 55, p. 95-107. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00186-7.
18. ZHU, G., JU, W., CHEN, J. M., LIU, Y. A novel moisture adjusted vegetation index (MAVI) to reduce background reflectance and topographical effects on LAI retrieval. In: *PLoS One*, 2014, Nr. 15; 9(7):e102560. DOI: 10.1371/journal.pone.0102560.
19. VERMOTE, E., JUSTICE, C., CLAVERIE, M., FRANCH, B. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. In: *Remote Sensing of Environment*, 2016, nr. 185, 46-56.
20. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X18304692>
21. USGS: Science for a changing world. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index>
22. AHMED, S., NICHOLSON, C. E., MUTO, P., PERRY, J. J., DEAN, J. R. Applied aerial spectroscopy: A case study on remote sensing of an ancient and semi-natural woodland. In: *PLoS One*, 2021, Nr. 16(11):e0260056. DOI: 10.1371/journal.pone.0260056.
23. HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X., FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. In: *Remote Sensing of Environment*, 2002, Vol. 83, Issues 1–2, 2002, p. 195-213, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2) (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425702000962>)
24. HUETE, A., Christopher Justice, and Huiqing Liu. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. In: *Remote Sensing of Environment*, 1994, nr. 49(3), p. 224–234.
25. MATSUSHITA, B.; YANG, W.; CHEN, J.; ONDA, Y.; QIU, G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. In: *Sensors*. 2007, nr. 7, p. 2636-2651. <https://doi.org/10.3390/s7112636>
26. Soft Farm. Vegetation indices NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color. <https://www.soft.farm/en/blog/vegetation-indices-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140>.
27. EOS DATA ANALYTICS. <https://eos.com/make-an-analysis/ndsi/>
28. National Snow and Ice Data Center. <https://nsidc.org/data/user-resources/help-center/what-ndsi-snow-cover-and-how-does-it-compare-fsc>
29. ROSSINI, M. et al. Discriminating Irrigated and Rainfed Maize with Diurnal Fluorescence and Canopy Temperature Airborne Maps. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, Vol. 4, p. 626-646. DOI: 10.3390/ijgi4020626.
30. PENG, Y., NGUY-ROBERTSON, A., ARKEBAUER, T., GITELSON, A. Assessment of Canopy Chlorophyll

- Content Retrieval in Maize and Soybean: Implications of Hysteresis on the Development of Generic Algorithms. In: Remote Sensing, 2017, nr. 9(3):226. <https://doi.org/10.3390/rs9030226>
31. CAMMARANO, D., et al. Remote estimation of chlorophyll on two wheat cultivars in two rainfed environments. In: Crop and Pasture Science, 2011, Nr. 62, 267-275. DOI:10.1071/CP10100.
 32. FITZGERALD, G.J., RODRIGUEZ, D., O'LEARY, G. Measuring and predicting canopy nitrogen nutrition in wheat using a spectral index—The canopy chlorophyll content index (CCCI). In: Field Crops Research, 2010, nr. 116(3), p. 318-324.
 33. KOBAYASHI, N., TANI, H., WANG, X., SONOBE, R. Crop classification using spectral indices derived from Sentinel-2A imagery, In: Journal of Information and Telecommunication, 2020, Nr. 4:1, p. 67-90. <https://doi.org/10.1080/24751839.2019.1694765>
 34. GIANQUINTO, G., ORSINI, F., PENNISI, G., BONA, S. Sources of Variation in Assessing Canopy Reflectance of Processing Tomato by Means of Multispectral Radiometry. In: Sensors, 2019, Nr. 19(21):4730. DOI: 10.3390/s19214730.
 35. HUNT, Jr., RAYMOND, R., BARRETT, N. Detection of changes in leaf water content using Near- and Middle-Infrared reflectances. In: Journal Remote Sensing of Environment, 1989, Vol. 30, Issue 1, p. 43-54. DOI:10.1016/0034-4257(89)90046-1. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034425789900461>
 36. KUMAR, S., ARYA, S., JAIN, K. A SWIR-based vegetation index for change detection in land cover using multi-temporal Landsat satellite dataset. In: International Journal of Information Technology, 2022, Nr. 14, p. 2035–2048. <https://doi.org/10.1007/s41870-021-00797-6>
 37. ELHAG, M., BAHRAWI, J. Soil salinity mapping and hydrological drought indices assessment in arid environments based on remote sensing techniques. In: Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 2017, Nr. 6, p. 149-158. DOI: 10.5194/gi-6-149-2017.
 38. KAUFMAN, Y. J., TANRE, T. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, vol. 30, no. 2, p. 261-270. DOI: 10.1109/36.134076.
 39. Scuola di Agraria Medicina Veterinaria. Corso di Telerilevamento e Sistemi Informativi Territoriali. https://samv.elearning.unipd.it/pluginfile.php/157981/mod_resource/content/2/03_indici_16Ottobre2019.pdf
 40. AFANAS, D. Implementarea dronelor în agricultura de precizie. Recomandări de politici. Chișinău. 2022, 36 p. <http://viitorul.org/files/library/Agricultura%20de%20precizie.%20Recomand%C4%83%20ri%20de%20politici.pdf>
 41. CHEN, X., TANG, J., LAO, S. Review of Unmanned Aerial Vehicle Swarm Communication Architectures and Routing Protocols. In: Applied Sciences, 2020, vol. 10(10), p. 3661. <https://doi.org/10.3390/app10103661>
 42. CATUREGLI, L., CORNIGLIA, M., GAETANI, M., et al. Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses. In: PLoS One, 2016, Nr. 11(6):e0158268. DOI: 10.1371/journal.pone.0158268..
 43. DAPONTE, P., PALADI, F., BULIMAGA, T. Educație pentru drone. Suport de curs. Chișinău: CEP-USM, 2019, 330p.
 44. LA VIGNE, H., CHARRON, G., RACHIELE-TREMBLAY, J., RANCOURT, D., NYBERG, B., DESBIENS, A. Collecting critically endangered cliff plants using a drone-based sampling manipulator. Sci Rep, 2022.
 45. LISEIN, J., MICHEZ, A., CLAESSENS, H., LEJEUNE, P. Discrimination of Deciduous Tree Species from Time Series of Unmanned Aerial System Imagery. In: PLoS One, 2015 Nov 24;10(11):e0141006. DOI: 10.1371/journal.pone.0141006..
 46. VOROVENCII, I. Identificarea, evaluarea și monitorizarea schimbărilor din mediul înconjurător folosind metode ale teledetecției satelitare. Teză de abilitare, Brașov, 2015, 115 p.

Date despre autori:

Ana BÎRSAN, doctor în științe biologice, conferențiar universitar, Facultatea de Biologie și Geoștiințe, Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: birsanana@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1696-080X

Veaceslav SPRINCEAN, doctor în științe fizice, conferențiar universitar, Facultatea de Fizică și Inginerie, șeful Oficiului de Educație pentru Drone.

E-mail: sprincean@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6719-7387

Ion GANEA, doctorand, Școala Doctorală de Matematică și Știința Informației, Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: iganea9@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9346-2575

Notă: Articol elaborat în cadrul proiectului din cadrul Programul de Stat (2020-2023) „Tehnologii fizice avansate cu aplicarea UVS în monitorizarea și modelarea factorilor de mediu”, Cifrul 20.80009.7007.05.

Prezentat la 06.04.2023