



DOI: [10.71167/uaceg.2025.58S109](https://doi.org/10.71167/uaceg.2025.58S109)

Получена: 06.08.2025 г.

Приета: 01.09.2025 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЕМЕПОЛЗВАНЕТО В ОБРАБОТВАЕМИ ТЕРИТОРИИ НА БАЗАТА НА КОСМИЧЕСКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

И. Иванов¹, С. Кацарска-Филопова²

Ключови думи: сателитни изображения, спектрален анализ, класификация, дистанционни изследвания, земеделски територии

РЕЗЮМЕ

В публикацията е извършен анализ на земеделски територии на базата на оптични сателитни изображения. Изследването обхваща подбор на подходящи данни, промяна на честотата на дискретизация, създаване на подмножество за зоната на интерес, добавяне на векторни данни като еталони, координатно преобразуване, дефиниране на целеви регион и прилагане на класификация с множество дървета на решението върху разновременни изображения. Резултатите от предложената технологична схема са валидирани чрез официални източници и теренни проучвания.

1. Въведение

Проследяването на разпределението на земеделските култури и сеитбооборота засилва необходимостта от подробни и надеждни периодични данни за състоянието на посевите. Традиционните подходи, често се ограничават до използването на теренни измервания и анкети, които са времеемки и не достатъчно ефективни за наблюдение на големи масиви. В последните години аерофотограметричните заснемания на национално ниво намират приложение за извършването на този тип дейности. Въпреки тяхната

¹ Иван Иванов, инж. докторант, кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: ivan.kst.ivanov@gmail.com

² Силвия Кацарска-Филопова, доц. д-р инж., кат. „Фотограметрия и картография“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: filipova_fgs@uacg.bg

приложимост, този подход е съпътстван от редица съществени ограничения. Методът е финансово интензивен и се изисква голям обем човешки ресурс за организация и изпълнение. В допълнение, ниската времева резолюция, представена от едногодишна периодичност на заснеманията, ограничава възможностите за динамично проследяване на сезонните промени в растителната покривка. От спектрална гледна точка ортофото изображенията предоставят изображения във видимия диапазон на електромагнитния спектър, което ограничава възможностите за детайлна характеристика на вегетационното състояние. Процесът за извличане на качествени и количествени данни изисква визуална интерпретация, което отнема време при обработката на голям обем от информация и изисква наличието на голям брой висококвалифицирани специалисти, за да се гарантира достоверността и качеството на крайните резултати.

2. Подбор на използваните данни

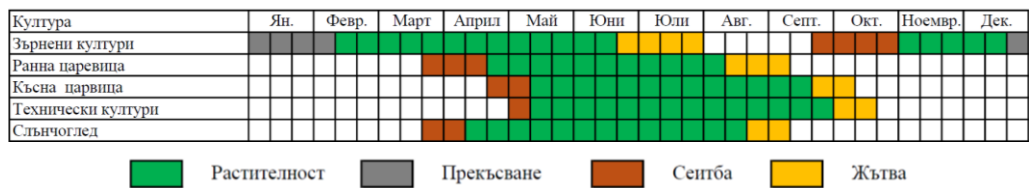
Обект на изследването е землището на град Балчик, което е разположено в един от най-продуктивните земеделски региони в страната. Аграрният сектор е от съществено икономическо значение за общината, като приблизително 75 % от площта ѝ представлява обработваема земя. Анализът е съсредоточен върху три основни култури – пшеница, паревица и слънчоглед, като са използвани данни от 2022, 2023 и 2024 година.

Използвани са по четири изображения от Sentinel-2 Level-2A за всяка година. Датите на формиране на изображенията са представени в табл. 1.

Таблица 1. Дати на използваните сцени от Sentinel-2

2022 г.	2023 г.	2024 г.
12.5.2022	2.5.2023	6.5.2024
17.5.2022	7.5.2023	31.5.2024
21.6.2022	6.6.2023	10.6.2024
16.7.2022	1.7.2023	20.6.2024

Подборът на всяка сцена е съобразен с критерии за минимална облачна покривка и съответствие с ключови фенологични фази на културите (фиг. 1), което осигурява възможност за проследяване на тяхното развитие. Избраните насаждения имат припокриващи се етапи на развитие в летните месеци, което позволява тяхното едновременно проследяване посредством един и същ набор от спътникови данни. Въпреки това се наблюдава изразено различие във времето за прибиране на реколтата. Тогава културите са спектрално най-различими една от друга и предоставят най-много информация за своята автоматизирана интерпретация.



Фиг. 1. Календар на посевите на някои видове култури в България [1]

3. Софтуерна обезпеченост

Цел на настоящото проучване е постигането на възпроизводимии резултати, базирани на свободно достъпни ресурси. Следователно, както спътниковите данни, така и всички използвани програмни продукти са общодостъпни. За предварителната обработка и класификация на изображенията е приложен програмният продукт ESA SNAP, който е специализиран за работа с данни от месиите Sentinel.

Детайлният геопространствен анализ, включително оценката на точността и качеството на получените резултати, е осъществен посредством QGIS. Функционалността е допълнена чрез разширения с отворен код, което осигурява прозрачност и възможност за преглед и контрол на вложените изчислителни алгоритми.

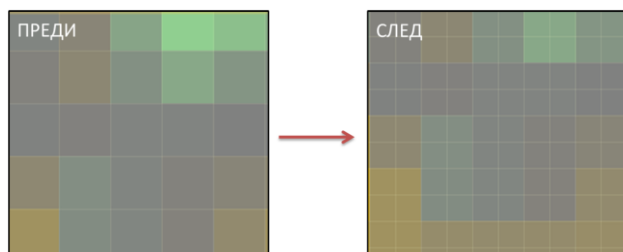
4. Технологична последователност за обработка на изображенията

Предложената технологична последователност за обработка на космическите изображения представя ясно очертан работен процес, който гарантира, че всяка стъпка е логически обоснована и технически издържана. Това не само намалява вероятността от пропуски или грешки, но също така спомага за оптимизация на времето и ресурсите, необходими за обработката.

Подобна схема на работа не само стандартизира работния процес, но и повишава качеството на резултатите. Тя предоставя възможност за проследяване на всяка обработка, което е важно за валидирането и повторемостта на резултатите.

4.1. Изменение на честотата на дискретизация

Обработката на многоканални космически изображения от Sentinel-2 включва преобразуване на различните пространствени резолюции на спектралните канали (10, 20 и 60 m) в унифицирана такава. Използван е метод за интерполация по най-близкия съсед. Чрез него се определя стойността на новия пиксел чрез директно копиране на стойността на най-близкия пиксел от оригиналното изображение. Методът запазва оригиналните, което е важно при анализ на специфични спектрални характеристики на земеделски култури или други повърхностни особености.



Фиг. 2. Резултат от изменение на честотата на дискретизация [2]

4.2. Създаване на подмножество

Чрез създаването на подмножество се постига изолитане на целевата територия от обширния набор от данни, което допринася за повишаване на аналитичната прецизност.

Това е необходимост, породена от факта, че една спътникова сцена обхваща значително по-голяма площ, отколкото конкретната зона на интерес. Прилагането на тази стъпка води до съществено намаляване на изчислителното време и оптимизира общата ефективност на процеса.

4.3. Избор на обучителни данни

За да могат да бъдат валидирани изходните данни, са направени полеви проверки на няколко ниви, част от землището на гр. Балчик. Цел на полевите огледи е да бъдат дешифрирани достатъчен брой ниви, засадени с изследваните култури, които да могат да бъдат използвани за еталони при обучаването на използваните алгоритми. Полевата проверка за 2024 година е направена през месец юли, което е съобразено с това, че разглежданите земеделски култури са ясно изразени. Те са в етап на растеж, в който лесно могат да бъдат разпознати и разграничени дори от хора, които нямат дълбоки познания в агрономство и растениевъдство. Полевите проверки за 2022 и 2023 г. са извършени чрез допитване до Кооперация Черно море – Балчик. С тяхно съдействие са локализирани посевите им от разглежданите култури за съответните години.



Фиг. 3. Използвани полета за еталони през 2024 г. – слънчоглед (лилаво), царевица (синьо), пшеница (жълто), горски територии (зелено)

4.4. Класификация на посевите

На базата на предварителна оценка на различните методи е избран класификатор с множество дървета на решения на разновременни изображения. За еталони са използвани полета, обект на полевите проверки, описани в предходната точка, като част от тях са запазени за тестови данни, на базата на които да се оцени класификацията. Използването на разновременни изображения подsigурява постигане на висока точност в анализа, защото дава комплексен изглед на земеделските култури в различни стадии на растеж и спомага за по-прецизно разграничаване на различните видове.

Оптималните параметри на избрания класификатор са определени като 5000 обучаващи проби и 500 класификационни дървета. Тези стойности са предложени като най-уместни в [3] и след провеждане на емпирични тестове с промени във високи и ниски диапазони на параметрите е потвърдено твърдението. Констатирано е, че тази конфигурация осигурява оптимален компромис между времето за обработка и точността на получените резултати.

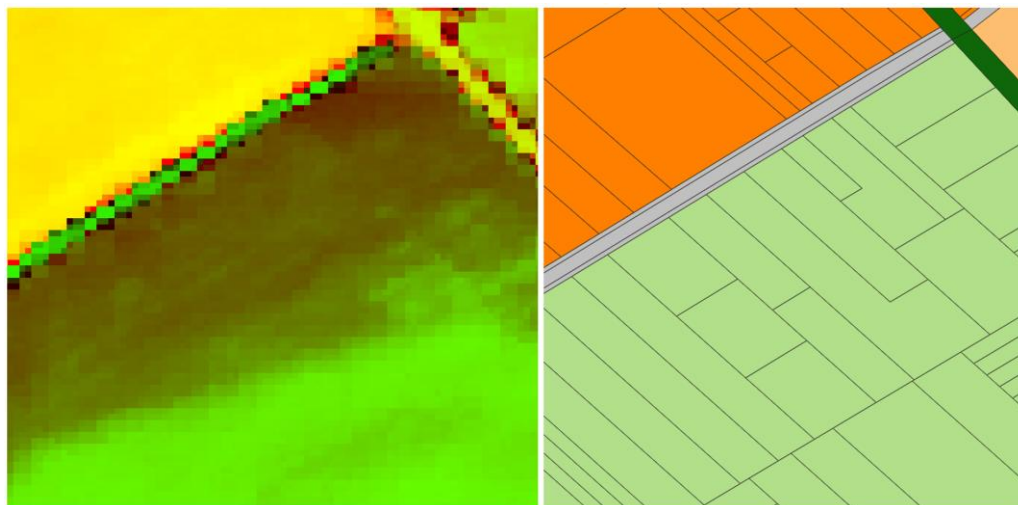
Вследствие на извършената класификация изходните данни са представени като TIFF изображение, поддържащо геопространствени метаданни. В рамките на тези

изображения различните класове се разграничават чрез уникално цветово кодиране, което позволява визуална интерпретация.

4.5. Сегментно-базирана класификация

Ако се приеме твърдението, че във всяко поле е засята само една единствена култура, наличието на различно класифицирани пиксели в рамките на един парцел би компрометирало качеството на получените резултати. За да бъде избегната подобна конфигурация, е преминало към сегментно-базирана класификация.

Част от нееднородността на пикселите се дължи на недефинираните пространствени граници между класовете. Следователно, при цветовото кодиране на класифицираното изображение се наблюдават нееднородно оцветяване в рамките на отделните сегменти. Друга причина за подобни резултати са присъщите грешки при класификацията, проявяващи се като изолирани пиксели или малки пикселни групи, на които са присвоени класови етикети, контрастиращи със съседните класифицирани пиксели. Въпреки това, въздействието на втория фактор е значително по-ограничено, тъй като неправилно класифицираните пиксели представляват минимален относителен дял от общата площ на изображенията.



Фиг. 4. Изображение след класификация (ляво), резултат след сегментно-базирана класификация (дясно)

Техническият инструмент, използван за сегментно-базираната класификация в QGIS е „Zonal Statistics“. Той изчислява статистически показатели за растерни данни въз основа на пространствени зони, дефинирани чрез векторен слой. За векторна информация са използвани отворените данни за границите на поземлените имоти от КАИС. За всяка зона алгоритъмът идентифицира всички пиксели, които попадат вътре и изчислява зададена статистика, например средна стойност, минимална стойност, математическо очакване и др.

За изпълнението на задачите на изследването е използвана статистика на мнозинството (majority). Чрез нея се идентифицира преобладаващата стойност (най-често срещания клас) от всички пиксели в дадената зона. Като резултат на всеки поземлен имот се присвоява класът, който най-често се среща.

5. Анализ на получените резултати

5.1. Данни за валидиране

За анализ на получените резултати и оценка на класификационната точност са използвани два набора данни. Първият включва публично достъпни статистически данни от Държавен фонд „Земеделие“ (ДФЗ), които представляват официални данни за площта на определените земеделски култури за съответната реколта година. Вторият източник са независими тестови данни, получени чрез теренни проучвания, които не са включени в обучаващия набор на класификатора.

Въпреки че данните от теренните проверки се отличават с висока степен на доверие на локално ниво, те не осигуряват плътно покритие на изследваната територия. За разлика от тях, данните от ДФЗ предлагат изчерпателна информация за общите площи на културите в цялата изследвана област, което ги прави подходящи за статистически сравнения.

5.2. Методи за оценка на точността

За оценка на достоверността на получените резултати са приложени две допълващи методики, които формират основата на последващия анализ.

Първият подход включва сравнителен анализ между общите площи на класифицираните категории и официалните агростатистически данни, изразен чрез процентно съвпадение. Тази техника позволява установяване на мащаба на несъответствията между двата набора от данни, Въпреки това, тя не представя информация за специфичните грешни на отделните полета и не адресира възможните разлики в пространственото разпределение на културите. В резултат на това, оценката на точността остава на агрегирано статистическо ниво, без детайлна информация за отделните обекти.

Вторият метод се базира на корелационен анализ, използващ коефициент на Пийърсън (r). Неговото предимство е възможността да индикира дали двата набора данни демонстрират сходна тенденция. Недостатъкът на този подход е, че високата или ниската корелация не изяснява връзка за наблюдаваните несъответствия и не предоставя категоризация на грешките. Тя единствено подсказва за наличието или отсъствието на статистически значима зависимост. Според [4] коефициента на Пийърсън се изчислява като ковариацията на двата набора данни, разделена на произведението на техните стандартни отклонения.

5.3. Резултати от класификацията

Чрез предложената технологична схема е извършена обработката и класификацията на избраните спътникови изображения. Анализът на резултатите за 2024 година, представени в табл. 2, разкрива съвпадение над 97 % за всяка от изследваните култури. Общата класифицирана обработваема площ демонстрира висока степен на съответствие (99,97 %) с данните от ДФЗ. Количествената оценка на точността е допълнена от висок коефициент на Пийърсън – 0,99906. Този резултат надхвърля приетия праг от 0,9, което индикира за изключително силна корелация между сравняваните данни.

Наблюдението, че площите за царевица и пшеница демонстрират леко завишаване, докато тези за слънчоглед са занижени под официалните стойности,

индикира последователност в работата на класификатора. Това равновесие предполага, че общият обем на класифицираната обработваема площ е ефективно разпределен между трите основни култури, без съществени пропуски или грешки в категорията.

Таблица 2. Количествен анализ на резултатите от класификация през 2024 г.

Култури	Справка от ОД Земеделие	Спектрален анализ (RF)	Съвпадение (%)
	Площ [ha]	Площ [ha]	
Пшеница – зимна	1973,0750	2001,4070	98,58
Царевица	593,8500	601,1800	98,78
Слънчоглед	1305,0000	1270,5940	97,36
Обща площ	3871,9250	3873,1810	99,97
Коефициент на Пиърсън:			0,99906

През 2023 година резултатите от класификацията, които са представени в табл. 3, се влошават, особено при царевицата и слънчогледа, където съвпадението с данните отДФЗ достига около 90 %. Това е чувствително по-ниско в сравнение с постигнатите над 97 % при отделните култури през 2024. При пшеницата няма силен спад. Там точността се запазва около 98 %, което до голяма степен се припокрива с предходната година. Общата площ също намалява своята точност, макар и само с около 1 % спрямо стойностите от 2024. Тези наблюдения насочват към извода, че проблемите в класификацията при 2023 са по-силно изразени при някои култури, докато при други резултатите остават стабилни.

Таблица 3. Количествен анализ на резултатите от класификацията през 2023 г.

Култури	Справка от ОД Земеделие	Спектрален анализ (RF)	Съвпадение (%)
	Площ [ha]	Площ [ha]	
Пшеница – зимна	2137,0000	2095,6840	98,07
Царевица	1056,5900	1135,8780	93,02
Слънчоглед	743,3000	664,1350	89,35
Обща площ	3936,8900	3895,6970	98,95
Коефициент на Пиърсън:			0,99358

Една от интересните зависимости е съотношението на площите при царевицата и слънчогледа. Когато царевицата намалява през 2023, слънчогледът през 2024 се увеличава и обратно. Тази тенденция може да се обясни с прилагането на сеитбооборота, при който последователно се редуват царевица и слънчоглед. По този начин сумарното разпределение между двете култури се запазва в общ мащаб, но се сменя конкретната култура на съответните полета.

Разликата в точностите при класификациите за двете години най-вероятно е свързана с периода на заснемане на сателитните изображения. През 2024 година са използвани изображения, направени през 10 дни. Тези дати обхващат етапите от развитието на културите, когато те се различават най-ярко една от друга и променят своите спектрални характеристики с бързи темпове, тъй като приближават финалната си фаза на растеж.

6. Заключение

Изследването показва, че при правилен подбор на изображенията, особено когато са заснети в ключови фенофази и при минимална облачност, предложената методика постига желаната точност. Същевременно резултатите потвърждават, че методът може да се подобри още повече, ако се разполага с по-голям набор от данни за валидация и ако се комбинира с радарни или термални изображения, които да добавят допълнителни спектрални характеристики за растенията.

В процеса на разработка се открояват някои недостатъци. На първо място, надеждността на получените данни зависи пряко от качеството на сателитните изображения, тяхната честота на заснемане и нивото на облачност. Освен това дори при висококачествени оптични снимки се налага да се извършват теренни проверки, за да се потвърди достоверността на класификацията и да се коригират потенциални грешки. Всички тези фактори показват, че комбинирането на данни от различни сензори и използването на повече времеви моменти ще подобри прецизността на методиката и ще я направи още по-надеждна при различни условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Katsarska-Filipova, S.* Interpretatsiya na kosmicheski izobrazheniya – printsipi, tekhniki, prilozheniya (e-book). Universitet po arkhitektura, stroitelstvo i geodeziya, Sofia 2023, ISBN 978-954-724-169-5.

2. *Dimitrov, P.* et al. Crop type mapping in Bulgaria using Sentinel-1/2 data. *Aerospace Research in Bulgaria* 33, 2021: 40 – 50.

3. RUS-Copernicus. Taining Kit – Serco Italia SPA 2018. Crop mapping with Sentinel-2. Case study: Seville, Spain (version 1.2). Retrieved from RUS Lectures at <https://rus-copernicus.eu/portal/the-rus-library/learn-by-yourself/>, poseten na 04.05.2025.

4. *Holmes, A., Illowsky, B., Dean, S.* Introductory Business Statistics 2e. OpenStax ISBN-13 978-1-711472-59-1, 2023: 536 – 538.

5. *Song, Yan-Yan, Ying, L. U.* Decision tree methods: applications for classification and prediction. *Shanghai archives of psychiatry*, 2015: 130.

6. *Filchev, L., Ganeva, D.* Good practices for synchronizing hyperspectral data from space sensors with ancillary data to monitor the ecobiological status of different crops for plant phenomics purposes. Seventeenth International Scientific Conference SPACE, Ecology, Safety 20 – 22 October 2021, Sofia, Bulgaria.

7. <https://www.dfz.bg/-/blizo-585-mln-leva-post-piha-po-smetkite-na-stopanite-po-bazovoto-plasane-na-plos-za-kampania-2024-1>, poseten na 04.05.2025.

8. *Kancheva, R.* Angliisko-balgarski terminologichen rechnik po Distantzionni izsledvaniya. Tom 1, Sofia, BAN-IKIT, 2020, ISBN 978-619-245-059-5.

9. *Kancheva, R.* Angliisko-balgarski terminologichen rechnik po Distantzionni izsledvaniya. Tom 2, Sofia, BAN-IKIT, 2021, ISBN 978-619-245-118-9.

INVESTIGATION OF AGRICULTURAL CROPS BASED ON SATELLITE IMAGERY

I. Ivanov¹, S. Katsarska-Filipova²

Keywords: satellite imagery, spectral analysis, classification, remote sensing, agricultural territories

ABSTRACT

This paper presents an analysis of agricultural territories based on optical satellite imagery. The study covers the selection of appropriate data, resampling, creation of a subset for the area of interest, addition of vector data as ground truth, coordinate transformation, definition of a target region, and application of Random Forest Classification on multi-temporal images. The results of the proposed technological framework are validated through official sources and field surveys.

¹ Ivan Ivanov, Eng. PhD student, Dept. "Photogrammetry and Cartography", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: ivan.kst.ivanov@gmail.com

² Silvia Katsarska-Filipova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Photogrammetry and Cartography", UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: filipova_fgs@uacg.bg