

Определяне на добивите от биологичен ечемик по сателитни данни от Sentinel-2

Милен Чанев¹, Лъчезар Филчев^{1,2}, Илина Каменова¹, Невена Митева¹

¹Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

²Институт за изследване на климата, атмосферата и водите – Българска академия на науките

e-mail: mchanev@space.bas.bg

Ключови думи: дистанционни изследвания, Sentinel-2, добиви, ечемик, биологично земеделие

Резюме: Настоящото изследване е проведено през селскостопанската 2022-2023 г. в землището на с. Бяла река, община Първомай в централна южна България. Наземните данни за добива са събрани от биологично сертифицирано поле засято с ечемик, което е част от стопанството на ЕТ „Борислав Славчев“. За идентифициране на фенологичните етапи на развитие на посева беше използвана скалата BBCH за житни растения. Данните от сателита Sentinel-2 бяха получени от платформата EOSDA LandViewer. Вегетационните индекси бяха генерирани в същата платформа като бяха подбрани такива, които са използвани в релевантни изследвания в конвенционалното земеделие. Използвани са четири изображения съответно за фенологичните фази BBCH-21 начало на братене, BBCH-30 вретене, BBCH-51 изкласяване и BBCH-77 край на млечна зрялост. Стойностите на пикселите бяха извлечени чрез ГИС софтуера ArcGIS Pro. При достигане на фаза технологична зрялост BBCH-99 бяха събрани наземни проби за измерване на биологичния добив. С получените наземни и сателитни данни беше извършен корелационен анализ, като се установи кои вегетационни индекси са най-подходящи за определяне на добивите и в коя вегетационна фаза.

Determining organic barley yields from Sentinel-2 data

Milen Chanev¹, Lachezar Filchev^{1,2}, Iliana Kamenova¹, Nevena Miteva¹

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

²Climate, Atmosphere, and Water Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

e-mail: mchanev@space.bas.bg

Keywords: remote sensing, Sentinel-2, yields, barley, organic farming

Abstract: The present research was conducted during the agricultural year 2022-2023 in the land of Byala Reka village, Parvomai municipality in central southern Bulgaria. The ground data for the yield was collected from an organically certified field sown with barley, which is part of the holding of ET "Borislav Slavchev". The BBCH scale for cereal plants was used to identify the phenological stages of crop development. Data from the Sentinel-2 satellite were acquired by the EOSDA LandViewer platform. Vegetation indices were generated in the same platform as selected ones used in relevant studies in conventional agriculture. Four images were used for the phenological phases BBCH-21 initiation of budding, BBCH-30 spindle, BBCH-51 grading and BBCH-77 end of milk maturity, respectively. Pixel values were extracted using the GIS software ArcGIS Pro. At the BBCH-99 technological maturity stage, ground samples were collected to measure biological yield. A correlation analysis was performed with the obtained ground and satellite data, establishing which vegetation indices are most suitable for determining yields and in which vegetation phase.

Въведение

Растението ечемик е едно от първите културни растения, които човекът използва от древността. Това растение е изиграло много важна роля в човешката история, като е допринесло съществено за изхранване на населението. В древността ечемика се е използвал освен за храна на хората, но и за фураж за одомашнените животни. По нашите земи в

древността траките са използвали ечемика за приготвяне на алкохолно питие подобно на бирата [1]. Ечемика е много разпространена култура в Европа, достигаща до 70° северна ширина и до 2000 метра надморска височина. Тази култура се отличава с голямата си сухоустойчивост, което я прави добър конкурент на останалите зърнено-житни култури. Комбинацията между сухоустойчивост и по-късия вегетационен период дава възможност за по-ранното му прибиране и получаването на по-високи и стабилни добиви. Това, от своя страна, позволява по-ранното освобождаване на площите за отглеждане на втори култури [2, 3]. Ечемикът днес остава важна култура за изхранване на населението в някои райони, в Азия и Северна Африка, като се забелязва и увеличен интерес към него в световен мащаб заради добрите хранителни качества, които има [4].

Сателитните данни са подходящ инструмент за мониторинг на селскостопанските култури. Използването на такъв тип данни може да подпомогне биологичното земеделие. Научните изследвания и технологичният напредък в областта на дистанционните изследвания значително подобриха способността ни да откриваме и количествено определяме физическите и биологичните натоварвания, които влияят върху производителността на селскостопанските култури [5]. Данни от сателита Sentinel-2 успешно се използват за разграничаване на различни типове земеделски системи като конвенционални, биологични или биодинамични [6]. Добивът от дадена култура е може би най-важната информация за управление на културите в прецизното земеделие, която интересува не само земеделския производител, но и редица държавни и частни организации [7, 8, 9].

Материали и методи

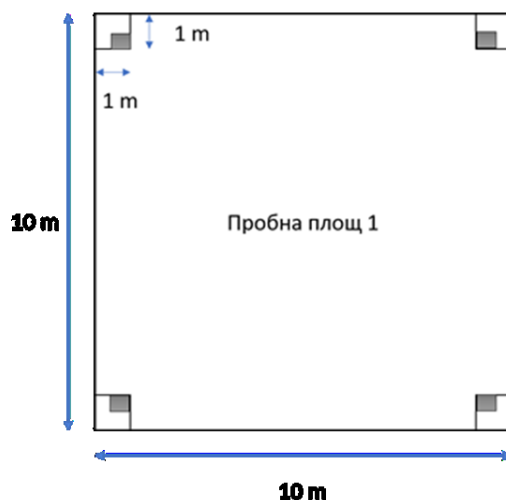
Настоящото изследване е проведено през селскостопанската 2022-2023 г. в землището на с. Бяла река, община Първомай в централна южна България. Наземните данни за добива са събрани от биологично сертифицирано поле засято с ечемик, което е част от стопанството на ЕТ „Борислав Славчев“.

Фенологични наблюдения

Регистриране на основните фенологични фази по скалата на (BBCH) – BBCH-21 начало на братене, BBCH-30 вретенене, BBCH-51 изкласяване и BBCH-77 край на млечна зрялост [10]. Настъпването на всяка една от фазите, е когато 25% от растенията са навлезли в нея. Отчитането се извършва, когато 75% от растенията са обхванати в съответната фаза.

Проследяване на фенологични фази и пробовземане за биометрични измервания на добива

В платформата EOS Crop-monitoring във фенологична фаза братене са избрани три пиксела в полето със стойности на вегетационният индекс NDVI съответно 0.8, 0.7 и 0.6. Пикселите са с големина 20 × 20 m, като във всеки от тях е организирана пробна площадка с размери 10 × 10m. При достигане на фаза технологична зрялост в четирите края на пробната площадка са взети GPS координати и всички растения от 4 метровки оразмерени 0.25 × 0.25 m. На Фигура 1 е представена схемата на пробните площадки и метровките.



Фиг. 1. Схема на пробните площадки и метровките

Биометрични измервания

Биометричните изследвания са направени по методика на Шанин (1977). Преди прибиране на реколтата в трите различия на вегетационният индекс NDVI се взимат всички растения от метровка 0.25 × 0.25 m в 4 повторения.

Във всяка метровка са преброени всички растения, а върху 25 растения са проследени следните показатели:

- Височина на растенията (cm);
 - Дължина на класа (cm);
 - Зърна в класа (брой);
 - Маса на зърното в класа (g);
 - Биологичен добив (kg/da);
- Физични качества на зърното
Маса на 1000 зърна (g) за 4 повторения.

Данни от сателита Sentinel-2

Sentinel-2 е спътникова мултиспектрална мисия с висока разделителна способност, която подкрепя проучванията за наблюдение на земята по програма „Коперник“ на ЕК. Това включва наблюдение на растителността, почвата и водното покритие, както и наблюдение на вътрешни водни пътища и крайбрежни зони. Мултиспектралният инструмент MultiSpectral Instrument (MSI) на борда на Sentinel-2 заснема в 13 спектрални канала: четири канала по 10 m, шест канала по 20 m и три канала по 60 m пространствена разделителна способност. Заснетите данни и високата честота на повторни заснемания осигуряват генерирането на геоинформация на местно, регионално, национално и международно ниво. Данните са предназначени да бъдат модифицирани и адаптирани от потребители, които се интересуват от различни тематични области [11].

В това изследване сателитните данни са получени и обработени в платформата EOSDA LandViewer. EOSDA LandViewer (EOS Data Analytics inc., CA, USA) е приложение за сателитно наблюдение на изображения, което позволява избор на изображението от най-големия каталог със сателитни изображения, тяхното бързо обработване, както и анализ с набора от разширени инструменти [12]. В платформата Land Viewer след импортирането на файл с границите на полето и с помощта на функцията индекс калкулатор се генерират подбраните ВИ. Генерираните ВИ се изтеглят от платформата като *.TIF файлове.

ГИС методи

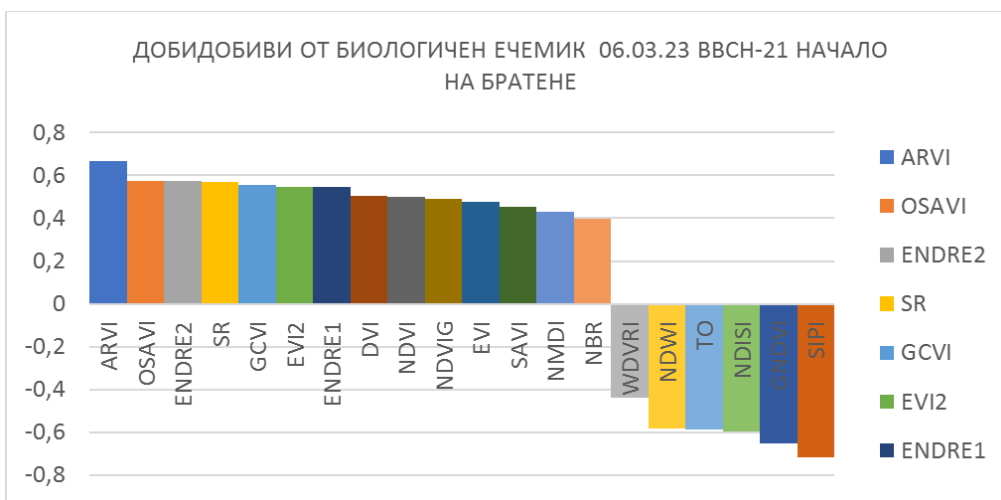
В ГИС среда от генерираните ВИ, за обследваното поле от сателита Sentinel-2, са извлечени стойностите на пикселите за всяка една от пробните площадки в полето. След което са съставени карти на полето със съответните ВИ. В следващата стъпка от генерираните ВИ и данните за добива са съставени карти на добива за обследваното поле. Софтуерът, с който е извършена обработката на получените данни от сателита Sentinel-2 е ArcGisPro.

Статистически анализи

Корелационният анализ за статистическо доказване на най-подходящите за употреба ВИ е направен в MS EXCEL. Приема се, че когато коефициента на корелация (r) е от 0 до 0.33 - корелацията е слаба, когато r е в границите от 0.34 до 0.66 е средна и от 0.67 до 0.99 е силна [13, 14].

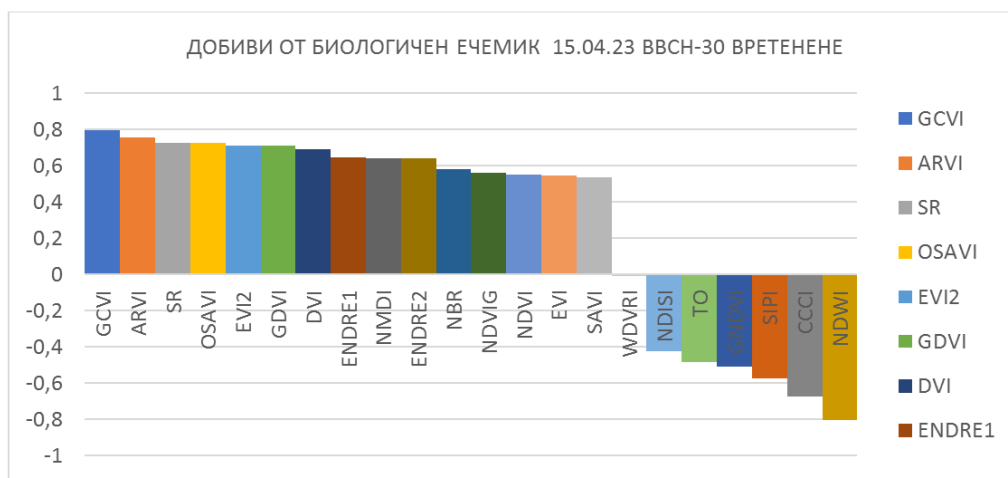
Резултати

Корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологично отгледаният ечемик във фаза BBCH-21 начало на братене са представени на диаграмата на показана на Фиг. 2. От фигурата става ясно, че най-силна положителна корелационна зависимост има ВИ ARVI ($r = 0.67$). ВИ със средна положителна корелационна зависимост са 13 на брой, съответно OSAVI, ENDRE2, SR, GCVI, EVI2, ENDRE1, DVI, NDVI, NDVIG, EVI, SAVI, NMDI и NBR. Впечатление прави, че ВИ OSAVI, ENDRE2, SR, GCVI, EVI2 и ENDRE1 са с минимални различия и съответно може да се каже, че те успяват еднакво добре да се използват за прогнозиране на добива в тази фаза. В тази вегетационна ваза в отрицателна корелационна зависимост са ВИ WDVRI, NDWI, TO, NDISI, GNDVI, SIPI. Вегетационният индекс, който е в най-голяма отрицателна корелационна зависимост е SIPI, а ВИ WDVRI е в най-малка отрицателна корелационна зависимост ($r = -0.44$).



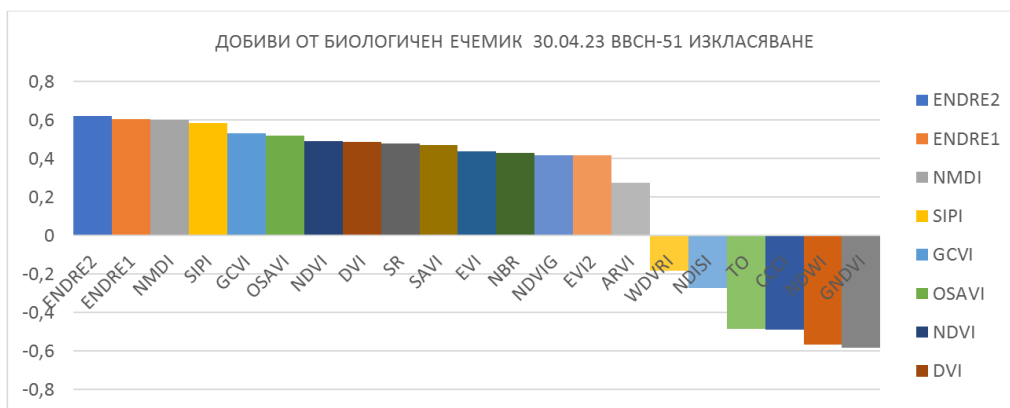
Фиг. 2. Корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологичен ечемик във фаза BBCH-21 - начало на братене

На диаграмата представена на Фиг. 3 са показани корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологично отгледаният ечемик във фаза BBCH-30 вретенене. От диаграмата става ясно, че 15 от ВИ са в положителна корелационна зависимост, 6 са в отрицателна корелационна зависимост, а ВИ WDVRI не е в никаква корелационна зависимост с добива от биологичен ечемик ($r = -0.01$). Впечатление прави, че от 15-те ВИ, които са в положителна корелационна зависимост 7 от тях са в силна положителна корелационна зависимост съответно това са ВИ GCVI ($r = 0.80$), ARVI ($r = 0.76$), SR ($r = 0.73$), OSAVI ($r = 0.73$), EVI2 ($r = 0.71$), GDVI ($r = 0.71$) и DVI ($r = -0.69$). В най-голяма отрицателна корелационна зависимост е ВИ NDWI ($r = -0.80$).



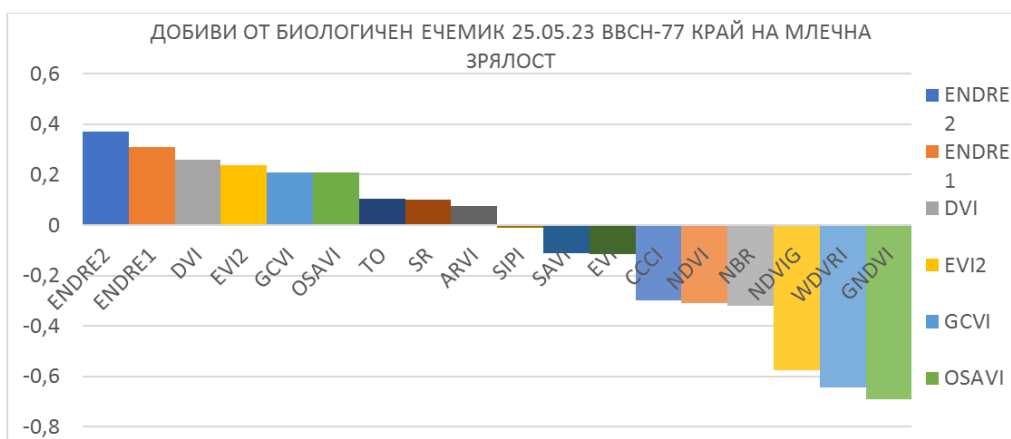
Фиг. 3. Корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологичен ечемик във фаза BBCH-30 - вретенене

Резултатите от направеният корелационен анализ между ВИ генерирани от сателита Sentinel-2 и добивите от биологично отгледаният ечемик във фаза BBCH-51 изкласяване са представени на Фиг. 4. От представените данни на фиг. 4 става ясно, че нито един от ВИ не е в силна корелационна зависимост с добивите от биологично отгледаният ечемик. В тази вегетационна фаза ВИ, който най-добре може да предвижда добива от биологичен ечемик е ENDRE 2 ($r = 0.62$). Следващите три вегетационни индекса също са подходящи за предвиждане на добивите от биологичен ечемик, тъй като разликата между тях е минимална това са ВИ ENDRE1 ($r = 0.61$), NMDI ($r = 0.60$) и SIPI ($r = 0.59$). с най-ниска положителна корелационна зависимост с добивите от биологично отгледаният ечемик е ВИ ARVI ($r = 0.27$), а с най-ниска отрицателна корелационна зависимост с добивите от биологично отгледаният ечемик е ВИ WDVRI ($r = -0.18$). и двата ВИ не са подходящи за предвиждане на добивите от биологично отгледаният ечемик в тази вегетационна фаза. С най-голяма отрицателна корелационна зависимост с добивите от биологично отгледаният ечемик е ВИ GNDVI ($r = -0.59$).



Фиг. 4. Корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологичен ечемик във фаза ВВСН-51 – изкласяване

На диаграмата представена на Фиг. 5 са показани корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологично отгледаният ечемик във фаза ВВСН-77 край на млечна зрялост. От диаграмата се вижда, че в тази вегетационна фаза нито един от ВИ не е в силна положителна корелационна зависимост с биологично отгледаният ечемик. Вегетационният индекс с най-голяма положителна корелационна зависимост с биологично отгледаният ечемик е ENDRE 2 съответно с ($r = 0.37$). С най-голяма отрицателна корелационна зависимост с биологично отгледаният ечемик е ВИ GNDVI ($r = -0.69$).



Фиг. 5. Корелационните зависимости между ВИ от Sentinel-2 и добивите от биологичен ечемик във фаза ВВСН-77 - край на млечна зрялост

Заклучение

Като заключение може да се каже, че най-подходящата вегетационна фаза, която може да се използва за предвиждане на добивите с помощта на ВИ генерирани по данни от сателита Sentinel-2 е ВВСН-30 - вретенене. В тази фаза има най-много ВИ, които могат да се използват за предвиждане на добива от биологичен ечемик. Най-подходящ е ВИ GCVI ($r = 0.80$), който е с най-силна корелационна зависимост с добивите от биологично отгледаният ечемик. В тази фаза не е подходящ да се използва ВИ WDVRI ($r = -0.01$), тъй като той не е в никаква корелационна зависимост с добива от биологичен ечемик.

Вегетационните фази начало на братене ВВСН-21 и изкласяване ВВСН-51 са равностойни по-отношение на способността да се използват данни от сателита Sentinel-2 за предвиждане на добивите, тъй като в тази фаза 14 от генерираните вегетационни индекси са в положителна корелационна зависимост с добивите от биологичен ечемик.

Вегетационната фаза начало на братене ВВСН-21 е по-подходяща за използване на данни от сателита Sentinel-2 в сравнение с изкласяване ВВСН-51, тъй като тя предоставя възможност във по-ранна фаза от развитието на посева от биологичен ечемик да се прогнозира добива. Като най-подходящ ВИ в тази фаза е ARVI ($r = 0.67$), тъй като той е в най-силна корелационна зависимост с добива от биологичен ечемик.

Като най-не подходяща вегетационна фаза за генериране на ВИ по данни от сателита Sentinel-2 за предвиждане на добивите от биологичен ечемик е фазата край на млечна зрялост BBCH-77. При тази вегетационна фаза не се установи само един вегетационен индекс, който да е в средна положителна корелационна зависимост с добивите от биологично отгледаният ечемик това е ВИ ENDRE 2 ($r = 0.37$). Предполагаме, че това е така, тъй като посева вече е в края на развитието си.

Благодарности

Това изследване е подпомогнато от Националната програма на МОН „Млади учени и пост-докторанти 2“ одобрена с РМС 206/07.04.2022г.

Авторите изказват своите благодарности на фирма Балкан биосерт, биологично сертифициран земеделски производител ЕТ „Борислав Славчев“ с. Бяла река, община Първомай, както и на EOS Data Analytics inc., CA, USA.

Литература:

1. Брешков, Т. (1986). Произход и история на ечемика, Ечемикът в България, Земиздат, 16–19.
2. Вълчев, Др. (2007). Проблеми, постижения и перспективи в селекцията по сухоустойчивост и студоустойчивост при ечемика, Изследвания върху полските култури, т. IV, кн.1, 5–18.
3. Вълчева, Д., Др. Вълчев, Д. Димова, М. Гочева, Б. Дюлгерова, Т. Попова (2011). Проблеми, насоки, постижения и перспективи в селекцията на зимния ечемик, Селскостопанска наука, т.44, бр. 6, 22–35.
4. Baik, B. K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of cereal science*, 48(2), 233-242. ISSN 0733-5210, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002>.
5. Gitelson, A., (2012). Remote sensing estimation of crop biophysical characteristics at various scales. In: *Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*, Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., Huete, A., Eds.; CRC Press. USA. ISBN 978-1-4398-4537-0.
6. Atanasova, D., Bozhanova, V., Biserkov, V., & Maneva, V. (2021) Distinguishing areas of organic, biodynamic and conventional farming by means of multispectral images. A pilot study. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 35.1 977-993. <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1938675>
7. Li, G., Wan, S., Zhou, J., Yang, Z., and Qin, P. 2010. Leaf chlorophyll fluorescence, hyper spectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. *Ind. Crops Prod.* 31: 13–19.
8. Usha, K. and B. Singh. (2013). Potential applications of remote sensing in horticulture - A review. *Scientia Horticulturae*. 153: 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.008>
9. Chaney M, Filchev L, Ivanova D (2020) Opportunities for Remote Sensing Applications in Organic Cultivation of Cereals – a Review. *Journal of the Bulgarian Geographical Society* 43: 31–36. <https://doi.org/10.3897/jbgs.2020.43.5>
10. Meier, U. (2001). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. *BBCH Monograph*. <https://doi.org/10.5073/bbch0515>
11. Sentinel-2 MSI 2022 user guide. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview> (достъпен към 15.12.2023 г.)
12. EOSDA LandViewer Guide https://eos.com/user-guide/landviewer/my_landviewer/ (достъпен към 15.12.2023)
13. Маринков, Е., Д. Димова, *Опитно дело и биометрия*. Академично издателство на ВСИ, Пловдив, 1999, 262 стр.
14. Chaney, M., Filchev, L., and Valcheva, D. (2022). Methodology for remote sensing monitoring of organic wheat crops. *Ecological Engineering and Environment Protection*, 2, 56–59. <https://doi.org/10.32006/eeper.2022.2.5659>