

ДОБРИ ПРАКТИКИ И ПРЕПОРЪКИ ЗА ОПЕРАТИВНИТЕ УСЛУГИ „КОПЕРНИК“ НА ЕС ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА, С ЦЕЛ ИНТЕГРИРАНЕТО ИМ В БЪЛГАРСКОТО РАСТЕНИЕВЪДСТВО

Десислава Ганева, Лъчезар Филчев, Златомир Димитров

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: dganeva@space.bas.bg; lachezarhf@space.bas.bg; zlatomir.dimitrov@space.bas.bg

Ключови думи: данни и услуги на програма „Коперник“, растениевъдство, наблюдение на Земята

Резюме: Разгледани са сайтовете и услугите предоставящи данните: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS. Предложени са добри практики и препоръки за използването им в българското растениевъдство. Също така са разгледани услугите на програма „Коперник“ започвайки с Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и локален компонент); Глобален компонент; Общоевропейски компонент; Местен компонент; Климатични промени - Climate Change (C3S); бедствия и аварии - Emergency (EMS) – и по-специално наводнения, суша. След всяка услуга са изведени предложения и препоръки/добри практики.

GOOD PRACTICES AND RECOMMENDATIONS FOR EU EU OPERATIONAL SERVICES OF "COPERNICUS" OF EU FOR MONITORING THE EARTH FROM SPACE, WITH THE PURPOSE OF THEIR INTEGRATION IN BULGARIAN PLANT PRODUCTION

Desislava Ganeva, Lachezar Filchev, Zlatomir Dimitrov

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: dganeva@space.bas.bg; lachezarhf@space.bas.bg; zlatomir.dimitrov@space.bas.bg

Keywords: Data and products programme “Copernicus”, plant production, Earth Observation

Abstract: The sites and services providing the data has been considered: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS. Good practices and recommendations are suggested for their use in Bulgarian crop production. In addition, Copernicus services are also discussed, starting with Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) - (global, pan-European, and local component); Global component; Pan-European component; Local component; Climate Change (C3S); disasters and accidents - Emergency (EMS) - and in particular floods, droughts. After each service, suggestions and recommendations / good practices are derived.

Въведение

Програмата "Коперник" е програма за наблюдение на Земята, реализирана от Европейския съюз като продължение на програмата за глобален мониторинг на околната среда и сигурността (ГМОСС), ръководена от Европейската комисия (ЕК). Тя се основава на специални мисии и допринасящи спътници, както и на in situ наблюдения. Семейството Sentinel на ESA от специални спътници ще наброява почти 20 спътника до 2030 г. Реализацията на програмата започна през 2014 г. със стартирането на спътника Sentinel-1A и в момента осем спътника са в орбита. Текущото състояние на предоставянето на данни от услугите на "Коперник" е напълно регистрирано на уебсайта на ЕКА в "Коперник" [1]. Благодарение на постоянното заснемане на земната и акваториална повърхност, данните от Sentinel се архивират в архив на ЕКА. Някои от данните се архивират в USGS, Google и Amazon cloud услуги. За Югоизточна Европа има комплексен наземен сегмент със Сентинел архивни данни,

намиращи се в Националната обсерватория на Атина (NOA), Гърция [2]. Огледалото се захранва от инфраструктурата на EU GEANT.

Настоящия доклад има за цел на базата на литературен обзор да формулира и даде препоръки (добри практики) за оперативни услуги на програма „Коперник“ на ЕС за наблюдение на Земята от космоса, с цел интегрирането им в българското растениевъдство. Структурата на настоящия доклад може да бъде поделена на три части:

В първата част се разглеждат различни типове спътникови данни разпространявани от програма „Коперник“: 1) Радарни данни и файлови формати (Sentinel-1); 2) Оптични данни и файлови формати (Sentinel-2, -3); 3) Допринасящи мисии към програма „Коперник“. След всяка част следва част с предложения и препоръки.

Във втората част от доклада се разглеждат сайтовете и услугите предоставящи данните: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS следвани от предложения, добри практики и препоръки за използването им в българското растениевъдство.

В третата част са разгледани услугите на програма „Коперник“ започвайки с Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и локален компонент); Глобален компонент; Общоевропейски компонент; Местен компонент; Климатични промени - Climate Change (C3S); бедствия и аварии - Emergency (EMS) – и по-специално наводнения, суша. След всяка услуга са изведени предложения и препоръки/добри практики.

Материали и методи

Радарни данни и файлови формати (Sentinel-1)

Методите базирани на радари със синтезирана апертура (SAR) са активни методи, използващи микровълново кохерентно лъчение с фиксирана дължина на вълната, с възможност за отчитане на поляризацията на обратно разсеяния сигнал [4]. По линия на Европейската програма – „Коперник“, се предлага свободен достъп до сателитна система - Sentinel-1, която предоставя радиолокационни снимки с работна честота 5.5 GHz, в микровълнов канал „С“. Освен това, системата отчита състоянието на поляризация на обратно разсеяния сигнал, в поляризационни канали – VV и VH. Периодът на повторно заснемане (времева разделителна способност) след Октомври 2016-та година е от 6 дни [5]. За целите на изследване на селскостопански култури чрез радарни методи, спътниковата система Sentinel-1 предоставя отлични възможности за проследяване фенологичния статус на земеделските култури, както и техния био-физичен статус [6]. Данните от радарните заснемания от Sentinel-1 се предоставят в структурирани каталози съгласно SENTINEL-SAFE format, включвайки разнородна информация от метаданни, както и за калибрирането на измерването [7]. Радарните изображения са поместени в 32-битов GeoTIFF, по един за всяка поляризация. Въпреки приложената ZIP-компресия на каталога, размерът му варира в зависимост от нивото на обработка на предоставяните данни в различни типове продукти. Основно, това са два типа:

- Slant Range Complex (SLC) – в геометрия на радара, като чрез комплексни числа е изразен вектора на обратно разсейване, с неговите характеристики – фаза и амплитуда. Тук Пространствената разделителна способност (ПРС) по обхват (range) и азимут (azimuth) е съответно – 5m и 10m, или сумарно максимална ПРС възлиза на ~ 10m.
- Ground Range Detected (GRD) – където вектора на обратно разсейване е проектиран чрез ъгъла на падане, съответно информацията за неговата фаза липсва и се предоставят само амплитудите. Тук, ПРС е фиксирана точно на 10m и в двете посоки на радарното изображение.

Размерът на SLC-продуктите е ~ 4 GB, докато GRD-продуктите имат обем от ~ 1GB. Обикновен потребител може да отвори и обработва продуктите от Sentinel-1 в разработвания и дистрибутиран от ЕКА за това софтуер – SNAP, където текущата му версия е 7.0.

Препоръки: Приложението в прецизното земеделие широко приложение намират различни поляриметрични дескриптори, базирани на ко-поляризираните (VV) и кръстно-поляризираните е.м. сигнали (VH), които могат да се изчислят от радарните изображения от системата Sentinel-1 [8]. От друга страна, могат да бъдат прилагани методи базирани на времева серия от данни, използвайки GRD-продуктите [9]. Може да се каже, че всякакъв вид продукт разработван на базата на радарни заснемания от Sentinel-1 предоставяни по програма „Коперник“, за целите на изследване на земеделски култури, се основава на – поляриметричните заснемания във VH и VV, ползвайки едно от двете нива на обработка на данните, а именно – SLC, или GRD. Тук

изходната ПРС в зависимост от продукта може да варира от 10m до 50m, в зависимост от степента на обработка на радарното изображение и нужната степен на филтриране на характеристичният шум в измерването.

Добри практики: В следната таблица са дадени примери за добри практики, които могат да бъдат приложени в изследването на селскостопански култури, и/или в прецизното земеделие. Достъпът до продуктите се осъществява през уеб-портала за данни по програма Коперник - Copernicus Open-Access Hub, (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Един такъв пример за добра практика е приложението на Радарния индекс на растителността в двойна поляризация (Dual-pol Radar Vegetation Index) в мониторинга на растежа на различни видове селскостопански култури [10]. Друг пример за добра практика е, както бе споменато по-горе използването на времева серия от радарни изображения за проследяването на фенологичния статус на различни видове земеделски култури [11]. От друга страна, в подобен пример е използвана комбинация между радарни и оптични изображения от спътникови данни по програма „Коперник“, именно от Sentinel-1 и Sentinel-2. Тук, методът базиран на радарните данни се основава на отношението на радарната отражаемост – backscatter ratio VV/VH [12].

Таблица 1. Видове продукти получени от радарни данни от спътникови данни (Sentinel-1), предоставяни от хъб за данни на програма «Коперник»

Вид продукт	Методи базирани на този продукт - „добри практики“	Приложим към изследване на - вид култура:	ПРС в [m]
IW-GRD	<ul style="list-style-type: none"> - Времева серия - Polarization ratio - Dual-pol RVI. 	<ul style="list-style-type: none"> - Земеделски култури – полски - Зеленчукови градини - Мониторинг на култури 	10
IW-SLC	<ul style="list-style-type: none"> - Поляриметрични дескриптори – от където да се изчислят и: dual-pol Shannon Entropy, Entropy, polarization ratio, dual-pol RVI, други. - Dual-pol POL-SAR поляриметрични декомпозиции 	<ul style="list-style-type: none"> - Овощки и дървесни - Зеленчукови градини - Земеделски култури - Проследяване на фенология на земеделски култури 	20

Оптични данни и файлови формати (Sentinel-2, -3)

Продуктите на изображенията от Sentinel-2, се разпространяват на четири нива на обработка: ниво 0 - необработени компресирани данни (ограничени до целите на вътрешното калибриране); Ниво-1A - некомпресирани данни (ограничени до вътрешни цели на калибриране); Ниво-1B - първи публичен продукт: включва радиометрични корекции (тъмен сигнал, нееднородност на пикселите, кростолк, дефектни пиксели, възстановяване и бининг за 60m канали); и усъвършенстван физически геометричен модел, приложен към продукта, но не приложен; Ниво-1C - осигурява орторектифицирани отражателни характеристики с под-пикселна многоспектрална и многодневно регистрация; към продукта се свързва маска за облаци и земя/вода. Маската за облаци също така предоставя индикация за цируси (висока переста облачност). Всяка плочка/ гранула е ~ 600 MB по размер; Ниво-2A - осигурява отражение на долната част на атмосферата в картографска геометрия. Всяка плочка / гранула е ~ 800 MB по размер.

Допринасящи мисии към програма „Коперник“

Съществуват около 30 допринасящи мисии към програма "Коперник". Те попадат в следните категории: 1) радар със синтезирана апертура (SAR) да наблюдава ден и нощ земята и океана; 2) Оптични сензори за наблюдение на наземните дейности и динамиката на океана; 3) Системи за алтеметизъм за измерване на морското равнище; 4) радиометри за наблюдение на температурата на сушата и океаните; 5) Спектрометри за измерване на качеството на въздуха [13]. Пълният списък на настоящите мисии, допринасящи за "Коперник", е предоставен на уебсайта на Европейската космическа агенция - ЕКА [14].

Понастоящем повечето от данните за допринасящите мисии по програмата "Коперник" се разпространяват чрез уебсайта на мисията на третата страна на ESA, който съдържа архив със сателитни данни със следните мисии: ALOS, Gosat (GOSAT CAI, GOSAT FTS), IKONOS,

JERS-1 (JERS-1 SAR 1 Прецизно изображение, JERS-1 OPS Very Near Infrared Radiometer, JERS-1 SAR ниво 1 Single Look Complex Image), Kompsat-2, Landsat (Landsat 5, Landsat 7, Landsat 5/7 Cloud Free, Landsat 8 NRT данни), OCEANSAT-2 (OCEANSAT-2 NRT), Pleiades, PROBA-1 (PROBA-1 CHRIS и HRC), RapidEye (RapidEye динамични редове за Сентинел-2), SEASAT, SPOT (Spot 1-5; Spot 6-7), WORLDVIEW-2 и Специални колекции (Image 2006 и Тропфорест данни) [15]. Всички набори от данни от основни услуги на "Коперник" и мисиите са достъпни от самостоятелния софтуер на ESA EOLi-SA като упълномощен ползвател по програмата "Коперник" [16].

Препоръки: За приложения в прецизното земеделие препоръчителни са мисиите с пространствена разделителна способност по-висока от 300 m и тези, които са все още оперативни. Списък на тези мисии е даден в Таблица 2.

Таблица 1. Списък на действащи към юни 2021, допринасящи мисии към програмата "Коперник" с по-висока пространствена разделителна способност от 300 m

Наименование	Данни от	Пространствена разделителна способност (m)
Proba-1 CHRIS	2002	18
Pléiades	2011	0.5 - 2
SPOT-6/7	2012	1.5 - 6
Landsat 8 OLI-TIRS European Coverage	2013	30
Planet Lab/SkySat	2013	0.5 - 5
DigitalGlobe	2007	0.25 -1.84
TerraSAR-X (2008, 1m-16m)	2008	1 - 16
COSMO-SkyMed	2007	1 - 100

Достъп до данни от програма Коперник

Copernicus Sci-hub

Достъпът до данни и услуги по програма „Коперник“, базирани на спътникова информация от сателитни платформи от фамилията Sentinel, е отворен за регистрирани потребители, чрез уеб-базирани платформи и програмни приложения интерфейси (API). Платформата *Copernicus Open Access Hub* на Европейската Космическа Агенция (ЕКА), предоставя точно такъв уеб-базиран онлайн каталог за достъп до спътникова информация придобивана от сателитните системи – Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 и Sentinel-5 [17]. Последните три сателитни системи не са приложими за изследване на селскостопански култури чрез дистанционни методи и следователно не се разглеждат в доклада.

За директен достъп до наличните изображения и услуги е нужна регистрация в портала. Порталът предлага търсене по критерий използвайки типизиран уеб-интерфейс, както и чрез текстови заявки позовавайки се на различни параметри към спецификациите на конкретния продукт, или сателитно заснемане. Тук, за векторните граници на района на търсене се ползва WKT-формат. Търсенето в портала може да се осъществи и посредством скриптове, използвайки приложният програмен интерфейс на платформата – *API-Hub*, чрез експониране на протокола Open Data (*OData*) и ползвайки REST върху HTTPS [18]. По този начин, използвайки софтуерните програми – *cURL* и *wget* в скриптове, е възможно автоматизиране на процесите по сваляне на продуктите от портала.

Препоръки: За целите на изследване на селскостопански култури при използването на Отвореният Хъб за данни по програма Коперник – Copernicus Open-Access Hub, изборът се съсредоточава до радарни изображения и продукти от SAR, предоставяни от Sentinel-1, както и от оптични такива предоставяни от Sentinel-2. При Sentinel-1 изборът на данни за спомнатата цел се отнася както до ниво на обработка на изображенията – Level-1 – с тип на продукти SLC и GRD, така и до ниво Level-2 – за готови продукти от различен характер за директна интерпретация, с приложени географски координати [21]. Тук, за района на България режимът на заснемане е *Interferometric Wide Swath (IWS)*. В оптичния сегмент представен от Sentinel-2, се предоставят множество мулти-спектрални продукти, с различни ниво на обработка – L0, L-1A, L-1B и L-1C. Тук, най-подходящи за потребителите са продуктите от ниво Level-2A, които са с орторектифицирани към земния геодид, с

приложени атмосферни и радиометрични корекции, където всички спектрални канали са корегистрирани [22]. Към тези продукти се предоставят и различни полезни класификации, като маски на облаците и сенките, класификация на растителността и др. От тези продукти е възможно да бъдат пресметнати различни спектрални индекси (пр. NDVI), полезни при изследване на селскостопанските култури. В зависимост от целта на научно-приложната задача, препоръчително е да се ползва уеб-портала Copernicus Open Access Hub (SCI-Hub) – от където може да се изтеглят различни видове данни и продукти от сателитните платформи – Sentinel-1 и 2, имащи сензори използващи различни спектрални характеристики [24, 25], подходящи при изследване, или мониторинг на селскостопански култури, където ГПС на продуктите и/или данните варира от 10 м до към 25 м.

RUS

Онлайн платформата Research and User Support (RUS - <https://rus-copernicus.eu/portal/>) е изцяло насочена към потребителите на данните по програма *Коперник*, като целта на нейното разработване е да подпомага потребителите в изпълнението на техните проекти, включващи данни по програмата. Платформата има за цел да насърчава изследователската дейност и обучението в областта на космическите технологии за наблюдение на Земята. Обученията включват уеб-семинари, видео уроци и обширна литература, с конкретна насоченост. Платформата е достъпна от Септември 2017-та година, като е отворена единствено към Европейските граждани, като част от административни научни звена, или към частни неправителствени организации, отново заети в научния сектор. Това, автоматично изключва достъпът на RUS до всякакви юридически структури с комерсиални цели [19]. Услугите RUS се ръководят от консорциума – CS Group, включващ компании от Франция, Италия и Румъния. Ползвайки наличните софтуери с отворен код във виртуалната среда, могат да се прилагат различни видове данни и услуги предоставени от облака, по конкретна задача, примерно в изследване на селскостопански култури.

Препоръки: Платформата RUS би могла успешно да се използва от учените в научно-приложни задачи ориентирани към изследване състоянието на селскостопански култури. Платформата е с отворен достъп и предоставя различни видове обучения – групови, или индивидуални, както отнесени към използването на данните по програма *Коперник*, така и по специфични тематички отнесени към петте сегмента на програмата – в това число, към задачите отнесени към земното покритие. Възползвайки се от платформата RUS, за целите на селското стопанство от наличните в списъка курсове, примерно следния може да бъде полезен: RUS Training Session – Burned area mapping using Sentinel-3 SLSTR – 22 June 2021 (<https://rus-copernicus.eu/portal/rus-training-session-burned-area-mapping-using-sentinel-3-slstr/>). От друга страна, всякакви други курсове могат да бъдат намерени в разделът с курсове за съответната обучителна сесия – пр. RUS Training Session - TAT2021 (<https://rus-copernicus.eu/portal/category/events/conferences-workshops/>).

DIAS

С цел да се улесни и стандартизира достъпът до данни, Европейската Комисия е финансирала изграждането на пет платформи базирани в „облак“, от които да се предоставя централизиран достъп до данни, услуги и инструменти по програма *Коперник*. Тези пет платформи се наричат – DIAS (Data and Information Access Services) [20].

Всичките платформи предоставят достъп до спътниковите данни от всички Сентинели (Sentinels-1,2,3,4,5), както и до информационните продукти по линия на петте сегмента на програма *Коперник*. Във връзка с казаното, се предоставя и достъп до инструменти с отворен код и такива срещу заплащане на дневна база.

Препоръки: Платформите DIAS могат да бъдат от голяма полза при разработване на дадена научно-приложна задача във връзка с изследване на селскостопанските култури, тъй като се предоставя централизиран достъп до голям информационен обем от различни видове спътникови информация със различни спектрални характеристики, както и разнородни инструменти за тяхното обработване. Цялата работа по дадената задача се запазва в „облак“, което предоставя свобода при организацията на работния процес, като работните данни могат да бъдат сваляни локално при необходимост. Петте платформи DIAS, са както следва: CREODIAS (www.creodias.eu), Sobloo (www.sobloo.eu), Mundi Web Services (www.mundiwebservices.eu), ONDA (www.onda-dias.eu) и WEkEO (www.wekeo.eu) [23]. Добра практика относно използване на платформата DIAS е имплементирането на достъпът до данни и услуги през платформите на Институционално ниво, от страна на Полския Институт по Геодезия и Картография – IGIK, които ползват тези услуги за да провеждат мониторинг и

регулярни изследвания на селскостопански култури посредством данни по програма Коперник. Инициативата се казва - Common System and Platform, Based on Copernicus Data and Services, for Agricultural Agencies in Poland [26].

Услуги на програма Коперник

Atmosphere (CAMS)

Услугата „Атмосфера“ (CAMS) по програма „Коперник“ е първата от шестте родови услуги (<https://atmosphere.copernicus.eu/>), която се отнася до услуги за мониторинг на атмосферните параметри и качеството на въздуха [20]. Също така, се предоставя полезна информация за слънчевия поток (solar radiation), радиационен трансфер земя-атмосфера, състав на въздуха, състояние на озонов слой и UV-лъчение, състояние на парникови газове, както и проблеми в климата [28]. За прогнозиране на атмосферните параметри се ползва числения модел на Европейския център за средносрочни прогнози – ECMWF, който ползва масиви от спътникови и наземни данни за района на Европа, предоставяни от EUMETSAT и ESA. Услугата CAMS е в оперативност от 1-ви Юли 2015 г., агрегирайки масиви от данни с измервания за състоянието на атмосферата в конкретни под-услуги. Тази услуга пряко е свързана с изследване на селскостопански култури, тъй като подава три важни атмосферни параметъра, пряко отнесени към фенологичния статус на културите, а именно – (1) влага и валежи, (2) слънчево греене (в това число и облачност), както и (3) температура и вятър при земята. Услугата CAMS предоставя данни освен за мониторинг на тези три категории атмосферни параметри, но също и така прогноза за тяхното състояние, изчислявани от прогностичния модел на ECMWF.

Общата схема на целият процес от предоставянето на данните до изходните продукти, подавани чрез под-услугите на CAMS, е следния [29]. Първо, се набират наземни данни относно качеството и състоянието на атмосферния въздух, в това число и от самолетни заснемания и сателитни измервания. После, се извършва числено моделиране на атмосферните параметри, спрямо съответната специфика – градска среда, селско стопанство, изгаряне на биомаса, океан, индустрия и пустинен прах. Като изходни продукти, се получават следните три типа продукти:

- Мониторинг на текущото състояние – тук се включват вече горе изброените продукти, относно качеството на въздуха, Слънчевата радиация, парникови газове и др.;
- Прогностични карти за следващите дни – с Паневропейски мащаб, или със Световен [30];
- Инструменти за изследване – тук влизат споменатите инструменти по линия на CAMS, като такива предоставящи информация за вредни емисии, източници на замърсяване, както и годишни оценки за качеството на въздуха.

Достъпът до услугите по CAMS е безплатен и отворен за всички регистрирани потребители. Относно самият достъпът, са разработени няколко мобилни приложения, от които могат да се достъпват различните видове данни и прогнози на атмосферни параметри.

Препоръки и добри практики: Препоръчително е използването на данните и услугите предоставяни от CAMS, особено при числено моделиране на фенологичното развитие на селскостопанските култури. Примерно, при изчисляването на азотния индекс на листната маса, е нужно знание за азота в растенията. Такова измерване се предоставя от услугата на CAMS за мониторинг и оценка на текущия състав на газовете в атмосферата. Тук е важно да се отбележи, че услугата за мониторинг предоставя данни както в реално време, така и за отминал период.

Като пример за добра практика е използване на разработените към сегмента мобилни приложения, от които могат да се зареждат данни за текущото състояние на въздуха в даден географски район, както и прогностични карти на параметрите на атмосферата. Примерно, в под-услугата „свободни данни за #SmartDecisions“, където се предоставят различни видове карти и данни за прогнози качеството на въздуха, слоеве с данни за оценка на замърсители във въздуха, полени и др., са приложенията – *BreezoMeter*, *Meteo Pollen*, *Windy* [30]. В последното приложение могат да се зареждат множество динамични карти за прогноза на времето, вятъра, валежа и др., което може да бъде доста полезно при разработване на научно-приложни задачи свързани с мониторинга и моделирането на фенологичния статус на земеделски култури. В тази секция има и доста други полезни услуги, но ориентирани предимно към градска среда, които могат да бъдат в голяма полза при управленски решения, от страна на различни институции.

В сайта на FPCUP, в категория - „Атмосфера“ (<https://www.copernicus-user-uptake.eu/resources/presentations>), може да се намерят още полезна информация във формата на презентации, свързана с добри практики по използване на услугите и данните по CAMS, в научно-приложни задачи. От друга страна, в сайта на Nereus (<https://www.nereus-regions.eu/publications/>) се публикуват резултати и интересни приложения на данните по програма Коперник и в частност по CAMS, което може да бъде полезен пример за използването на данните в приложения и изследвания в българското земеделие.

Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и местен компонент)

Службата за мониторинг на Земята по програма "Коперник" (CLMS) предоставя географски данни и продукти, базирани на сателитни изображения и наземни данни (in situ), които подкрепят теми като селското стопанство, продоволствената сигурност, управлението на горите и управлението на водите. CLMS има четири компонента: глобален, общеевропейски, местен и сателитни изображения и референтни данни. Общеевропейският и местен компонент са координирани от Европейската агенция за околна среда (ЕАОС).

Службата за мониторинг на Земята по програма "Коперник" (CLMS) се нуждаят както от сателитни изображения, така и от наземни данни, за да създадат надеждни продукти и услуги. Тези сателитни изображения и референтни данни се генерират и управляват от четвъртия компонент. Подробно са разгледани само глобалния, общеевропейския и местния компонент.

Препоръки и добри практики: За приложения в прецизното земеделие препоръчителни са продуктите с пространствена разделителна способност по-висока от 300m. От глобалните продукти, това е Глобалното Динамично Земно Покритие (Global Dynamic Land Cover), което е с пространствена разделителна способност от 100m, актуализира се ежегодно и се базира на данни от PROBA-V. Последната актуализация е с референтните данни от 2019.

От общеевропейските продукти особено внимание може да се отдели на тези, които са базирани на изображения от Sentinel-2 A/B, и са предвидени да бъдат оперативни през август 2021.

Три са продуктите, които се отнасят към темата за "Фенология и производителност на растителността с висока пространствена разделителна способност". Първият е продукт, наричан Вегетационен Индекс ще се генерира в почти реално време, и ще предлага статус на растителността за всеки пиксел. Статусът се предоставя по четири начина: *Leaf Area Index (LAI)*, *Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR)*, *Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)* и *Plant Phenology Index (PPI)*. Вторият продукт, фенологични показатели на растителността, ще се генерира ежегодно и ще предоставя показатели за до два вегетационни сезона, показатели като начало на сезона, край на сезона, сезонна производителност и т.н. Третият продукт, сезонна промяна, ще се предоставя непрекъснато на всеки 10 дни, ще произтича от обработката на годишните времеви серии на *Plant Phenology Index*.

Други продукт, който също е базиран на изображения от Sentinel-2, и е предвиден да бъде оперативен през август 2021. Той е свързан с наличието на снежна покривка. Продуктът се нарича частична снежна покривка и ще се генерира в почти реално време. Този продукт дава за всеки пиксел частта от повърхността му покрита със сняг.

Climate Change (C3S)

Услугата „Климатични промени“ (C3S) по програма *Коперник*, е четвъртата от шестте родови услуги, която предоставя информация за миналото, настоящето и бъдещето на климата (<https://climate.copernicus.eu/>). Услугите предоставяни от C3S спомагат за по-добър мониторинг на промените в климата, както и адаптиране на стратегии свързани с климата, от страна на административни тела и бизнеси. Основните продукти представляват климатични бюлетини, масиви от данни свързани с климата и каталог с дейности и проекти свързани с климата.

Климатичните бюлетини се изготвят на месечна база и представят картографска информация и анализ на състоянието на климата, позовавайки се на различни индикатори за климатичните промени. Бюлетините обхващат целият Европейски континент и включват картографски слоеве с данни и статистически анализи за голям времеви период, като представляват следните продукти – *Температура при земята, Морета и лед, Хидроложки променливи и Наземен мониторинг (in-situ) за Европа* [31].

В секцията услуги – *Data in action*, се предоставя информация за конкретни разработки, демонстрационни и пилотни проекти, относно ключови за индустрията и бизнеса теми свързани

с климата в конкретни географски райони от Света. Демонстрационни проекти показват добър пример как може да се подходи при решаването на проблеми свързани с климата. Към всеки един проект се разработват софтуерни решения, които могат да бъдат полезни в подобни задачи.

В секцията - *Sectoral specific challenges*, се предоставя достъп до инструменти и информация, която може да помогне при вземане на решения свързани с климата. Информацията е категоризирана по сектори, като - *Управление на водите, Земеделие и гори, Туризм и др.*

Препоръки и добри практики: В хидроложият бюлетин към C3S, е включена и информация за почвената влага (soil moisture), което е от голяма полза при изследване на земеделски култури. Разглеждайки информацията в - *Precipitation, relative humidity and soil moisture for May 2021*, може да се направи заключение за количеството паднали валежи за конкретен период в mm/day, за температурата на въздуха за същия период, както и за относителната влажност и за почвената влага изразени в % [32]. От друга страна, ако се разгледа бюлетина - *Surface air temperature for March 2021*, може да се придобие информация за температурната аномалия през м. Март на 2021г, спрямо осреднената такава за периоди 1991-2020, или 1981-2010 години [33]. Относно климатичните индикатори и техни специфики при смяната на сезоните, като екстремни температури, замръзване, условия за слана и други такива, касаещи земеделието, полезна информация може да се получи от бюлетините за Наземен мониторинг (in-situ) за Европа. Тук, конкретен пример е *State-of-the-European-climate: March 2021*, където показват синоптичната обстановка и причините за метеорологичното време през Март, специфични температурни аномалии, които могат да са причина за слани, аномалии на валежа, сумарна Слънчева радиация за месеца, както и друга полезна информация [34]. Друга полезна информация относно климата в Европа за отминалата 2020-та година е поместена в секцията - *European State of the Climate* (<https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2020>), където отново има информация за - валежи, почвена влага, горски пожари, облачност и радиационен трансфер. Тук, продукта за Почвена влага подава полезна информация за аномалията на влагата изразена в - % за отминал период.

Относно секцията *Data in action* към C3S, интересна добра практика е демонстрационния проект - *Decadal predictions for agriculture* [35]. Прототипа на услугата подава важни параметри за климата и прогностични карти нужни в земеделието, при прогнозиране на добива, управление на земеделските култури, планиране на акции за пръскане против болести по растенията, обезпаразитяване и други.

В секцията *Sectoral specific challenges*, в направление *Agriculture and forestry* – отново е представена информация, която да подпомага земеделието, прогнози на климатични параметри с цел прогнозиране на добива, аномалии на въпросните параметри и др. [36]. В секцията се включват различни демонстрационни проекти свързани със земеделието, както и конкретни примери разработени за конкретни земеделски култури – примерно, влияние на климата в отглеждането на памук (<https://climate.copernicus.eu/impact-climate-change-cotton-industry>).

Както при CAMS, така и при C3S в сайта на FPCUP, в категория - „Климат“ (<https://www.copernicus-user-uptake.eu/resources/presentations>), може да се намерят още полезна информация във формата на презентации, свързана с добри практики по използване на услугите и данните по C3S, в научно-приложни задачи. В сайта на eShape (<https://e-shape.eu/>) следвайки тема - „Climate action“ има външни препратки към дейности и семинари свързани с акцент върху добрите практики за управление на климата, включвайки данни и услуги по програма Коперник. Тук могат да се открият видео-конференции от водещи научни институции, представящи резултати от научно – приложни задачи, като полезен пример при прилагането на този вид услуги в българското земеделие.

Emergency (EMS) - наводнения, суша

Услугите за управление при извънредни ситуации предоставят информация за реагиране при извънредни ситуации и управление на риска от бедствия. Услугите са от два типа: картографиране при поискване и ранно предупреждение и наблюдение. Картографиране при поискване подробна информация за избрани извънредни ситуации, които възникват от природни или причинени от човека бедствия навсякъде по света. Ранно предупреждение и наблюдение предлага критична геопространствена информация на европейско и световно ниво чрез непрекъснати наблюдения и прогнози за наводнения, суши и горски пожари.

Препоръки и добри практики: В сайта на Коперник EMS могат да се открият серия от активации свързани със растениевъдството и по-специално последствията от бедствията и

авариите върху него. Най-честите активации да свързани с наводнения, пожари и оценка а добивите в райони засегнати от конфликти (въоръжени) свързани с продоволствената сигурност. Редно е да се отбележи че в България оторизираната институция за активация на EMS е МВР и по-специално – Център за аерокосмическо наблюдение. Активациите следва да се правят пестеливо само в случай че националните компетентни органи не могат да дадат необходимата ситуационна обстановка съобразно нуждите на растениевъдството. В повечето случаи такива анализи – по-детайлни – се изготвят от консултантски организации свързани със застрахователни компании. В заключение следва да се отбележи, че е необходима по-нататъшна координация на компетентните органи в България във връзка с по-ефективно използване на активациите по EMS и включване на българското растениевъдство в приоритетните области в случай на бедствие, авария или природни катастрофи.

Заключения и препоръки

В резултат от направения обзор и представените предложения и препоръки могат да бъдат направени следните изводи:

Различните типове спътникови данни и продукти разпространявани свободно от програма „Коперник“ на ЕС в т.ч.: 1) Радарни данни и файлови формати (Sentinel-1); 2) Оптични данни и файлови формати (Sentinel-2, -3); 3) Допринасящи мисии към програма „Коперник“. След всяка част следва част с предложения и препоръки предоставят възможност на изследователя да допълни с навременна и надеждна спътникова информация своите растениевъдни анализи и модели. Това се улеснява, както от отворения достъп до данните така и от наличните софтуерни продукти разработени от ЕКА за работа с тях, които също така свободно достъпни.

Сайтовете и услугите на програма „Коперник“ предоставящи достъп до данните и продуктите вкл.: 1) Copernicus hub; 2) RUS; 3) DIAS – дават възможност в зависимост от естеството и мащаба на научната задача да се използват изчислителните ресурси на Европейската общност за нуждите на българското растениевъдство. Наличието на различни видове свободни обучителни ресурси в Интернет улеснява използването на продуктите и услугите на програма „Коперник“. Все още остава проблем езиковата бариера и техническата грамотност за пълно усвояване на ресурсите.

От разгледаните услуги на програма „Коперник“, започвайки с Atmosphere (CAMS); Land (CLMS) – (глобален, паневропейски, и локален компонент); Глобален компонент; Общоевропейски компонент; Местен компонент; Климатични промени - Climate Change (C3S); и завършвайки с бедствията и авариите, които оценява EMS – и по-специално наводнения, суша става ясно, че за почти всеки компонент от системата почва растителност има налични данни – макар и с различна пространствена и времева разделителна способност, които подпомагат изучаването на растителността – респ. растениевъдните култури - на национално, регионално и местно ниво. Направена е селекция на продукти и услуги за целите на българското растениевъдство на основата на обстоен анализ на продуктите и услугите на програма „Коперник“ направен по проект CURE (FP7, EC)

Благодарности

Настоящото изследване е резултат от задача 1: Изследване на възможностите за синхронизиране на хиперспектралните данни (спътникови и аеро) с наземните изследвания за мониторинг на еко биологичния статус (контрол на основните химико-физични параметри на почвата) на различни култури; Дейност 2: Анализ на оперативните услуги на програма „Коперник“ на ЕС за наблюдение на Земята от космоса, с цел интегрирането им в българското растениевъдство и подпомагане участието членовете на консорциума в европейските програми за прецизно земеделие (GEOGLAM, CAP2020+, SOCAP, EO4SD и др.) по Национална научна програма „Интелигентно Растениевъдство“, финансирана от МОН, одобрена с решение на МС № 866/26.11.2020 г. Компонент 2. Диагностика и прогноза чрез изкуствен интелект. РП 2.2. „Използване на данни от наблюдения на земята (RST-ТТО)“.

Литература:

1. ESA (2021) Data Provision Status. <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/data-provision-status>
2. HNSDMS (2021). Hellenic National Sentinel Data Mirror Site. <https://sentinels.space.noa.gr/>
3. CNES (2017). Sentinel: Satellites, <https://copernicus.cnes.fr/en/satellites>
4. Richards, J.A., *Remote Sensing with Imaging Radar, 2.10. Polarization*, p.28, DOI 10.1007/978-3-642-02020-9, Springer, 2009.
5. ESA, Sentinel-1, *Sentinel-1 Observation Scenario*, <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario>

6. Banque X., J.M. Lopez-Sanchez, et.al., *Polarimetry-based land cover classification with Sentinel-1 data*, Altamira Information S.L., Barcelona, Spain and Universidad de Alicante, Alicante, Spain, 2018.
7. SAR Formats, <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/data-formats/sar-formats>.
8. Pottier E., (2013) *SAR polarimetry Basics Concepts, Advanced Concepts and Applications*, 2nd Advanced Course on Radar Polarimetry, ESA-ESRIN. (https://earth.esa.int/documents/10174/669747/PolSARBasic_Concepts.pdf)
9. Cremer F., et al., (2018) *An Image Transform Based on Temporal Decomposition*, Friedrich-Schiller Universität JENA, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, VOL. 15, NO. 4.
10. Mandal D. et al., (2020) *Dual polarimetric radar vegetation index for crop growth monitoring using sentinel-1 SAR data*, Remote Sensing of Environment 247-111954.
11. Bargiel D., (2017) *A new method for crop classification combining time series of radar images and crop phenology information*, Remote Sensing of Environment 198, 369–383.
12. Meroni M., et al., (2021) *Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and -2*, Remote Sensing of Environment 253, 112232.
13. Copernicus (2021) Copernicus Contributing Missions, <http://www.copernicus.eu/main/contributing-missions>.
14. ESA (2021) Space Component Data Access, Contributing Missions. <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/missions>
15. ESA (2021) Third Party Missions Online Access List. <https://tpm-ds.eo.esa.int/collections>
16. ESA (2021) EOLi-Sa 'ESA link to Earth Observation'. <https://earth.esa.int/web/guest/eoli>
17. Copernicus Open-Access Hub (2021), <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.
18. Copernicus Open-Access Hub, *APIs Overview*, (2021) <https://scihub.copernicus.eu/userguide/APIsOverview>
19. Copernicus, *Research and User Support (RUS)*, (2021) <https://rus-copernicus.eu/portal/>
20. Copernicus, *Data and Information Access Services (DIAS)*, (2021) <https://www.copernicus.eu/en/access-data/dias>
21. ESA. Sentinel-1, *Product Types and Processing Levels*, (2021) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-types-processing-levels/>
22. ESA. Sentinel-2, *Processing Levels*, (2021) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels>
23. ESA-Copernicus, *Copernicus DIAS Fact Sheet*, (2018) https://www.copernicus.eu/sites/default/files/Copernicus_DIAS_Factsheet_June2018.pdf
24. ESA. Missions, Sentinel-1, (2021) <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>
25. ESA. Missions, Sentinel-2 MSI, *Overview*, (2021) <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>
26. IGIK Poland, *Common System and Platform, Based on Copernicus Data and Services, for Agricultural Agencies in Poland*, <https://www.copernicus-user-uptake.eu/user-uptake/details/common-system-and-platform-based-on-copernicus-data-and-services-for-agricultural-agencies-in-poland-269>
27. Copernicus, Atmosphere, *About CAMS*, <https://atmosphere.copernicus.eu/about-us>
28. Copernicus, CAMS, *Free data for smart decisions*, <https://atmosphere.copernicus.eu/smart-decisions>
29. Copernicus Atmosphere Monitoring Service, *Tap into a world of environmental information*, <https://atmosphere.copernicus.eu/sites/default/files/2019-10/CAMS%20General%20Brochure.pdf>
30. Copernicus, CAMS, *Data*, <https://atmosphere.copernicus.eu/data>
31. Copernicus, C3S, *Climate bulletins*, <https://climate.copernicus.eu/climate-bulletins>
32. Copernicus, C3S, *Precipitation, relative humidity and soil moisture for May 2021*, <https://climate.copernicus.eu/precipitation-relative-humidity-and-soil-moisture-may-2021>
33. Copernicus, C3S, *Surface air temperature for March 2021*, <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-march-2021>
34. Copernicus, C3S, *State-of-the-European-climate: March 2021*, <https://surfobs.climate.copernicus.eu/stateoftheclimate/march2021.php>
35. Copernicus, C3S, *Decadal predictions for agriculture*, <https://climate.copernicus.eu/decadal-predictions-agriculture>
36. Copernicus, C3S, *Agriculture and forestry*, <https://climate.copernicus.eu/agriculture-and-forestry>