

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

БЕВЗ ОЛЕКСІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 620.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування доцільності використання космічного моніторингу в
аграрному виробництві**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ О.С. Бевз

Керівник роботи

Кухарець С. М.

Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Бевз Олексій Сергійович. Обґрунтування доцільності використання космічного моніторингу в аграрному виробництві. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Використання космічних технологій дозволяє передбачити зливи чи засухи протягом досить тривалого проміжку часу. Космічне зондування дозволяє виявляти типи рослинності, отримувати карти із динамікою зміни сільськогосподарських культур. знаходити вміст поживних речовин на полях. Дозволяє встановити необхідну додаткову кількість поживних речовин, способи захисту врожаю та оптимізувати рух сільськогосподарських агрегатів. Перспективним для українських аграріїв є використання технології Sentinel, що дозволяє в реальному часі провести моніторинг стану сільськогосподарських культур. Інформація отримана із використанням технології Sentinel, дозволяє приймати управлінські рішення для побудови стратегії сталого розвитку сільськогосподарського виробництва і як наслідок забезпечення продовольчої безпеки та мінімізації негативного впливу на довкілля. Зокрема, підвищення ефективності рослинницької галузі агровиробники повинні мати актуальну та чітку інформацію про стан сільськогосподарських культур.

В Поліському національному університеті створено центр Полісся, який передбачає створення космічної системи дистанційного зондування Землі із максимальною адаптацією до потреб сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова: супутник, космос, агровиробництво, зондування, клімат, стан ґрунту, посіви

ANNOTATION

Bevy Olexiy. Substantiation of expediency of use of space monitoring in agricultural production. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The use of space technology allows you to predict showers or droughts over a fairly long period of time. Space sounding allows to identify types of vegetation, to receive maps with dynamics of change of crops. find the content of nutrients in the fields. Allows you to set the required additional amount of nutrients, ways to protect crops and optimize the movement of agricultural units. Promising for Ukrainian farmers is the use of Sentinel technology, which allows real-time monitoring of crops. The information obtained using Sentinel technology allows to make management decisions to build a strategy for sustainable development of agricultural production and as a consequence of ensuring food security and minimizing the negative impact on the environment. In particular, in order to increase the efficiency of the crop industry, agricultural producers must have up-to-date and clear information on the condition of agricultural crops.

The center of Polissya has been established at Polissya National University, which envisages the creation of a space system for remote sensing of the Earth with maximum adaptation to the needs of agricultural production.

Keywords: satellite, space, agricultural production, sounding, climate, soil condition, crops

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	7
Висновок до розділу 1.....	10
РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОСМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В РОСЛИННИЦТВІ.....	11
Висновки до розділу 2	18
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОСМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ НА БАЗІ ПОЛІСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ	20
Висновок до розділу 3.....	24
ВИСНОВКИ.....	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

ВСТУП

Виробництво сільськогосподарської продукції постійно зростає. Але для ефективного виробництва продукції харчування необхідно досягти підвищення продуктивності праці, запроваджувати енергоощадні технології. Крім того необхідно зберегти родючість ґрунтів та забезпечити екологічну стійкість виробництва.

Тому використання космічних технологій сприятиме підвищенню ефективності виробництва та забезпечить моніторинг екологічної складової аграрного виробництва.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити рівень сільськогосподарського виробництва за рахунок використання космічних технологій.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі наукові завдання:

провести аналіз, щодо доцільності використання космічних технологій в агровиробництві;

розробити рекомендації щодо використання космічних технологій в агровиробництві;

провести дослідження стану використання космічних технологій в агровиробництві;

Об’єкт дослідження: системи космічного моніторингу Землі.

Предмет дослідження: параметри систем космічного моніторингу Землі.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Кухарець С.М., Бевз О.С. Використання космічних технологій в аграрному виробництві. Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та

молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 3–5.

2. Бевз О.С. Показники моніторингу посух в сільському господарстві за допомогою космічних технологій. Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 136–137.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати дослідження спрямовані на покращення ефективності сільськогосподарської діяльності людини на основі використання космічних технологій.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменування. Загальний обсяг роботи становить 28 сторінок комп'ютерного тексту, містить 15 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Виробництво аграрної продукції щороку збільшується. Рівень обороту коштів а аграрному виробництві більше 5 трлн. доларів. Майже 40% поверхні Землі (без врахування морів, океанів та річок) та більше 70% прісної води використовується в аграрному виробництві. Зараз в аграрному виробництві задіяно більше третини наявної робочої сили, або більше одного мільярда людей [1]. Необхідно зауважити, що постійно зростає виробництво. Крім того біомаса аграрного походження активно використовується як відновлюване паливо [2]. Для ефективного виробництва як продукції харчування так і продукції стосовно біопалива необхідне досягти ще більшого підвищення продуктивності праці, запроваджувати енергоощадні технології [3]. Крім того необхідно зберегти родючість ґрунтів та забезпечити екологічну стійкість виробництва [4].

На мою думку використання космічних технологій сприятиме підвищенню ефективності виробництва та забезпечить моніторинг екологічної складової аграрного виробництва. Використання космічних систем можливо на макрорівні та макрорівні (рис. 1.1) [5].

У першому випадку (макрорівень) використання космічних систем забезпечить прогнозування факторів впливу довкілля на агровиробництво. Це можуть бути, як точний прогноз погоди, так і динаміка зміни клімату. Це дозволить чітко визначитися із терміном проведення основних польових робіт: сівба, збирання тощо. Детальний прогноз погоди та чіткі терміни виконання польових робіт із аналізом та прогнозом можливих аномальних явищ, наприклад, повеней чи посух дозволить спрогнозувати розвиток та ефективність аграрного

виробництва на тривалий термін. Крім того важливим є і моніторинг викидів парникових газів в результаті діяльності людини (рис. 1.2).

Якщо розглянути другий випадок використання космічних систем і технологій на мікрорівні, то тут доречним є оптимізація внесення добрив та оптимізація роботи зрошувальних систем. Це сприятиме максимізації ефекту від використання добрив та зрошування. Крім того космічний моніторинг дозволить раціонально використовувати воду та добрива. Адаже потреба сільськогосподарських культур у воді не є однорідною, деяким рослинам потрібно більше води, іншим менше. Космічний моніторинг забезпечить раціональний розподіл вологи та дозволить уникнути крайностей: надмірного чи недостатнього зрошення. Космічний моніторинг дозволить також раціонально вносити добрива за рахунок чіткого визначення ділянок де ці добрива дійсно необхідні. Ще одним важливим напрямом використання космічних технологій це системи точного землеробства. Це також сприятиме зменшенню витрат технологічних матеріалів, палива, добрив тощо та дозволить мінімізувати шкідливий вплив на довкілля. Використання знімків отриманих із безпілотників та дронів у поєднанні із інформацією глобальних навігаційних супутникових систем дозволить встановити раціональні маршрути руху сільськогосподарської техніки та транспорту на полях та покращити логістичну складову. Також космічні системи можуть допомогти в автономній роботі техніки.

Крім того використання супутників дозволить моніторити можливі посухи в агровиробництві [6, 7]. Згідно наукової класифікації посух вони поділяються на метеорологічні, гідрологічні, сільськогосподарські та соціально-економічні [8].

Для розвитку технології моніторингу із космосу, щодо масштабів посух та інших стихійних явищ використовують спеціальну інформацію (наприклад, мультиспектральні, температурні інфрачервоні або мікродіапазонні дані) [8].

Супутникові системи дистанційного зондування землі забезпечують візуальний моніторинг поверхні землі та за допомогою спеціальних індексів

визначає ступінь впливу посухи. Зокрема це може бути нормалізований індекс різниці рослинності, або індекс вегетаційного стану. Також важливим показниками є температура поверхні землі та нормований індекс вологи [8]



Рис.1.1. Використання космічних систем в агровиробнитві [5]

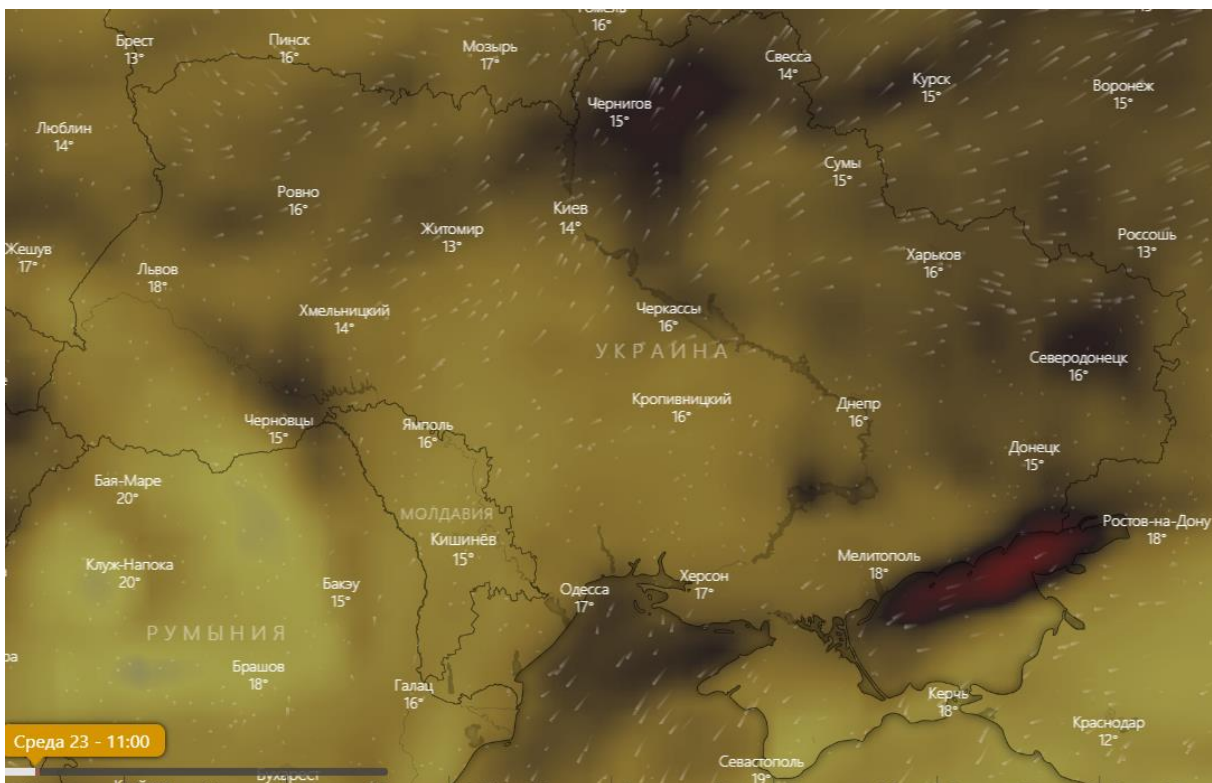


Рис. 1.2. Моніторинг концентрації CO над Україною

Використання космічних технологій в тваринницькій галузі аграрного виробництва дозволить контролювати стан тварин: температуру, активність, поведінку. Це дозволить на ранній стадії проблеми, що виникають із індивідуальною твариною чи з групою тварин, допоможе уникнути масових хвороб серед поголів'я.

Висновок до розділу 1

Таким чином можна зробити загальний висновок про доцільність використання космічних технологій в аграрному виробництві. Для розроблення чітких рекомендацій щодо використання космічних технологій в аграрному виробництві необхідно провести науковий аналіз світового досвіду використання таких систем.

РОЗДІЛ 2

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОСМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В РОСЛИННИЦТВІ

Оцінка хмар за даними геостаціонарного експлуатаційного супутника навколишнього середовища (GOES) базується на методі який оцінює тиск та температуру в хмарі [9], також фіксується добуток площі хмари, помноженої на інтенсивність інфрачервоного випромінювання хмари. Цей алгоритм використовує для вимірювання випромінювання в трьох спектральних каналах в смузі поглинання CO₂ від 13 до 15 мм і в інфрачервоному каналі на 11,2 мм; ці чотири канали мають роздільну здатність 7–10 км (залежно від кута огляду супутника). Три канали в смузі поглинання CO₂ диференціюють хмарний тиск і температуру, тоді як довгохвильовий інфрачервоний канал використовується для кількісної оцінки ефективної кількості хмар. У денний час видимий канал зображення також використовується для ідентифікації присутності хмар. Метод нарізки найкраще допомагає виявити та кількісно визначити характеристики високих хмар середнього рівня, і іноді виникають труднощі з ідентифікацією низьких снігових хмар через змінну емісійність снігових поверхонь. Сильні інверсії температури прикордонного шару також змушують хмари низького рівня час від часу вводити в алгоритм неправильне представлення. В даний час дані із супутників GOES-8 та GOES-10 обробляються з погодинними інтервалами групою з питань супутникових проєктів Національної адміністрації океанів та атмосфери (NOAA/ASPT), що знаходиться в Інституті спільної діяльності метеорологів у Вашингтоні, округ Колумбія. Вибір складених зображень хмарних продуктів із даних GOES-8 та GOES-10 можна переглянути на домашній сторінці CIMSS [10] та на домашній сторінці NOAA [11].

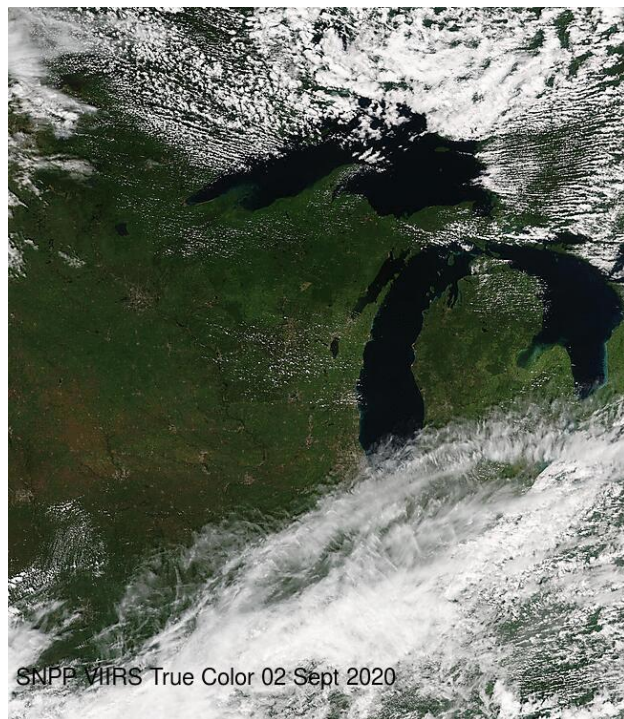


Рис. 2.1. Оцінка хмарного покриття на території США супутниками проекту CIMSS [10]

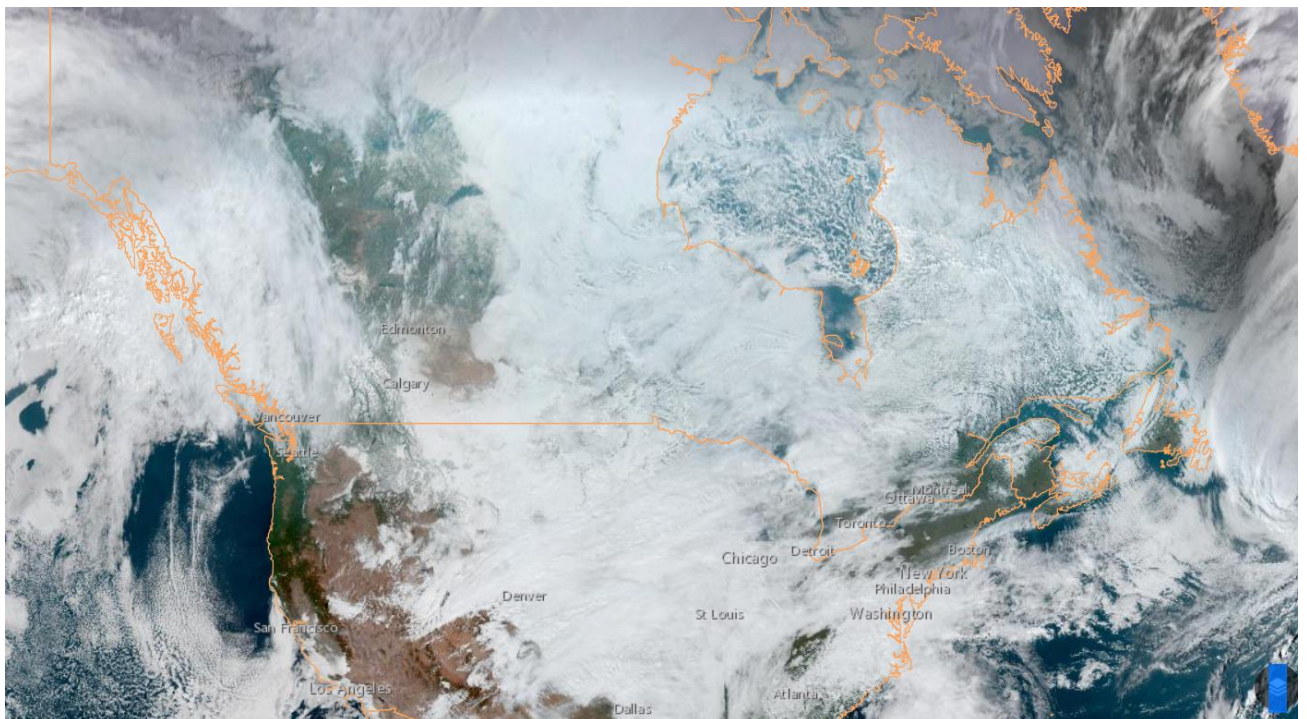


Рис. 2.2. Оцінка хмарного покриття на території США супутниками NOAA [11]

Глобальний флот погодних супутників забезпечує широкий огляд ураганів та зимових штормів та за динамікою стану хмар дозволяє передбачити зливи чи засухи протягом досить тривалого проміжку часу.

Ущільнення потоків даних, поява нових методологічних розробок та інфраструктури хмарних обчислень дозволяє використовувати штучні супутники землі в оперативному моніторингу стану сільського господарства. Наприклад місія "Copernicus Sentinel-2" [12] забезпечує систематичний 5-денний цикл перегляду та безкоштовний доступ до даних, відкриває шлях для моніторингу врожаю майже в режимі реального часу (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Зображення супутника місії " Copernicus Sentinel-2" (зображення: ESA, EADS Astrium [13])

Це дослідження дало можливість запропонувати методи та розробити систему з відкритим кодом, здатну генерувати в національному масштабі безхмарні композити, динамічні маски посівних площ, карти врожаю та показники стану рослинності, придатні для більшості систем посівів (рис. 2.4). Зокрема комбінація каналів, використана для створення зображення бразильського узбережжя представлена на рис. 2.4, (отримане 20 липня 2017 року) особливо корисна для виявлення різних типів рослинності та допомагає дуже чітко відрізнити її від внутрішніх водних об'єктів: вода виглядає темно-синьою, тоді як рослинність показано у різних яскравих кольорах [14].

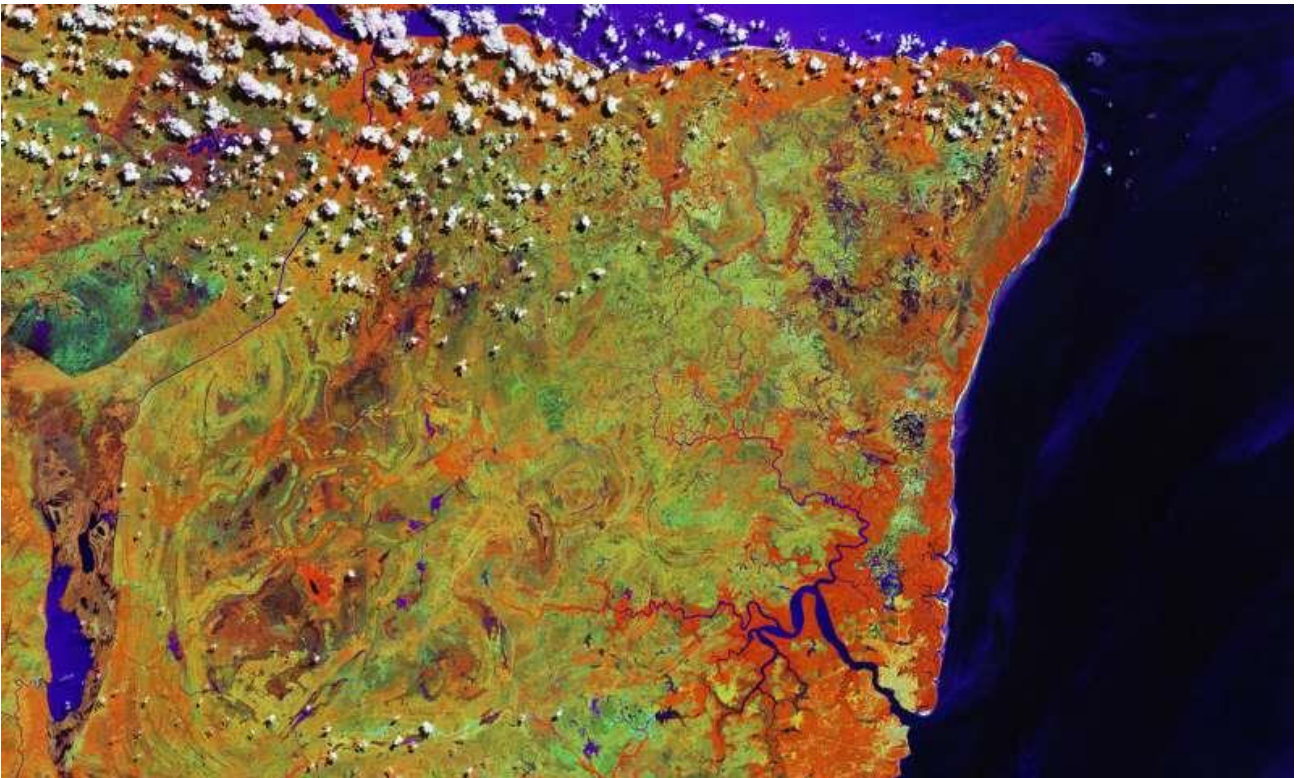


Рис. 2.4. Супутникове зображення частини Бразилії [14]

Комп'ютеризована автоматична ситема Sen2-Agri завантажує та обробляє інформацію зі супутників Sentinel-2 та Landsat 8. Зокрема в останні роки була проведена повномасштабна демонстрація цієї системи для трьох цілих країн

(Україна, Малі, ПАР) та п'яти місцевих сайтів [12], розподілених по всьому світу (рис. 2.5).

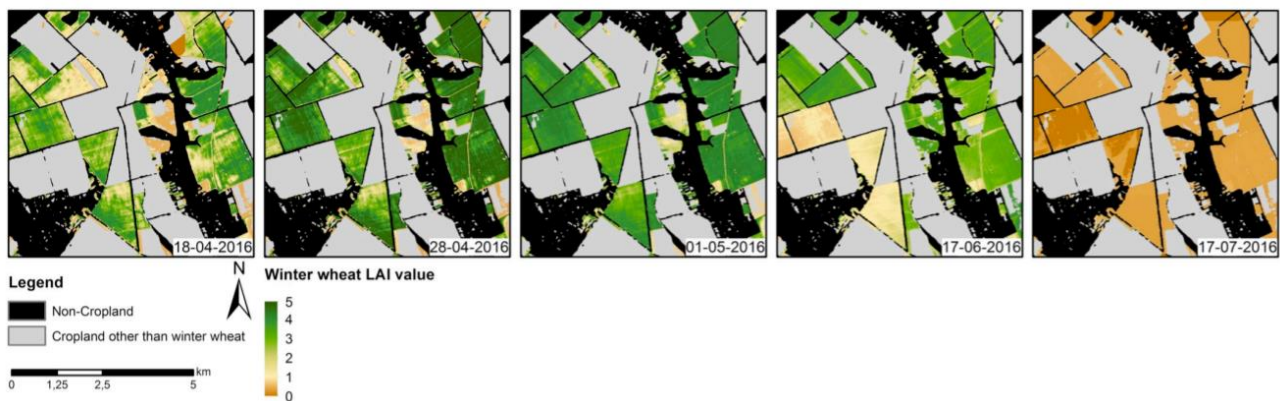


Рис. 2.5. Космічний моніторинг динаміки сільськогосподарських культур (фрагмент національних карт України) [12]

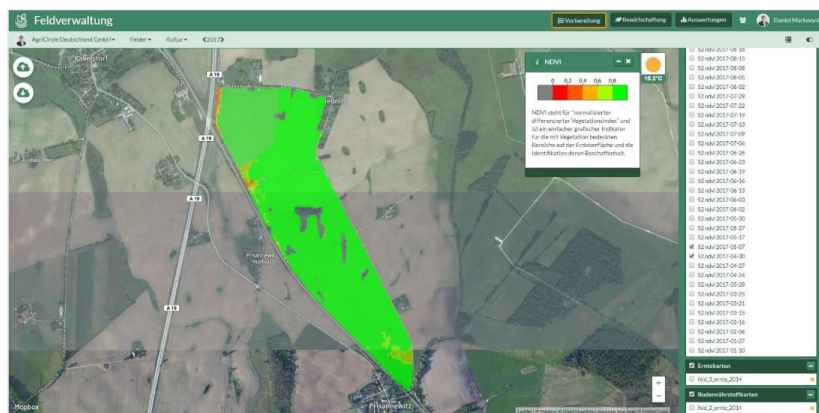
Ця інформація дозволяє отримати карти, що зображують розміщення та динаміку зміни основних сільськогосподарських культур.

Інформація отримана із таких космічних місій, дозволяє приймати управлінські рішення для побудови стратегії сталого розвитку сільськогосподарського виробництва і як наслідок забезпечення продовольчої безпеки та мінімізації негативного впливу на довкілля.

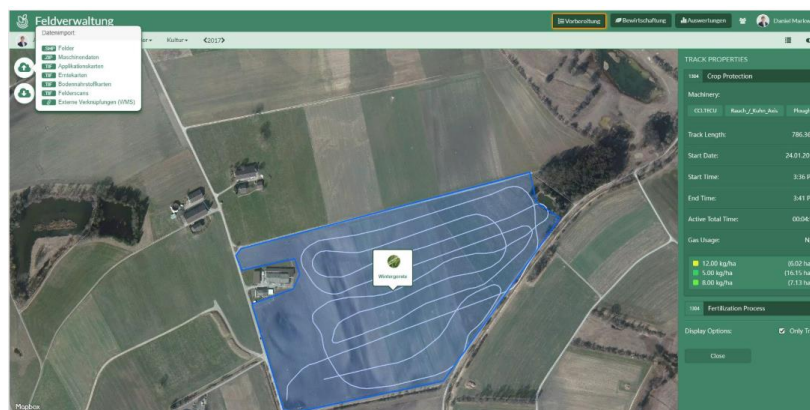
Цікавими є також місії Sentinel-2 та Sentinel-3a, результати яких оброблено за допомогою системи Solum Scire [15]. Аналіз отриманих даних дозволив побудувати карту поля (рис. 2.6а) та визначити вміст поживних речовин на полях та його зміну протягом року (рис. 2.6б). На підставі даних отриманих в результаті зондування, та з урахуванням точкових проб відбору ґрунту виконується геореференція ґрунтових площ. Ця інформація дозволяє встановити необхідну додаткову кількість поживних речовин, способи захисту врожаю, та на основі отриманих даних оптимізувати рух сільськогосподарських агрегатів (рис. 2.6в).



a)



б)



в)

Рис. 2.6. Карта поля (а) та отримані за допомогою карти поля та космічного зондування – вміст поживних речовин (б) та маршрути руху сільськогосподарської техніки (в)

Зокрема в Національному центрі управління та випробувань космічних засобів працює Регіональний сайт згідно досліджень за програмою “Copernicus”, на сайті всі бажаючі можуть набути доступу до результатів космічного моніторингу України із застосуванням ШСЗ Sentinel-1, Sentinel-2 та Sentinel-3. Для отримання даних космічного зондування по програмі Sentinel для України необхідно зареєструватися на сайті <http://sentinel.spacecenter.gov.ua/#/home> (рис. 2.7)

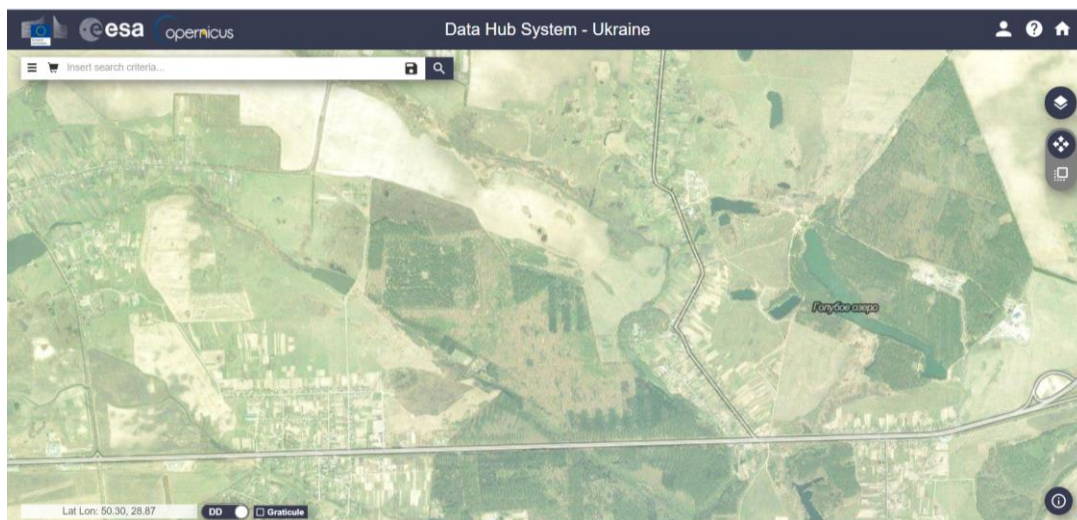


Рис. 2.7. Карта полів на ділянці поряд із трасою Житомир-Київ від Житомира до Коростишева [16]

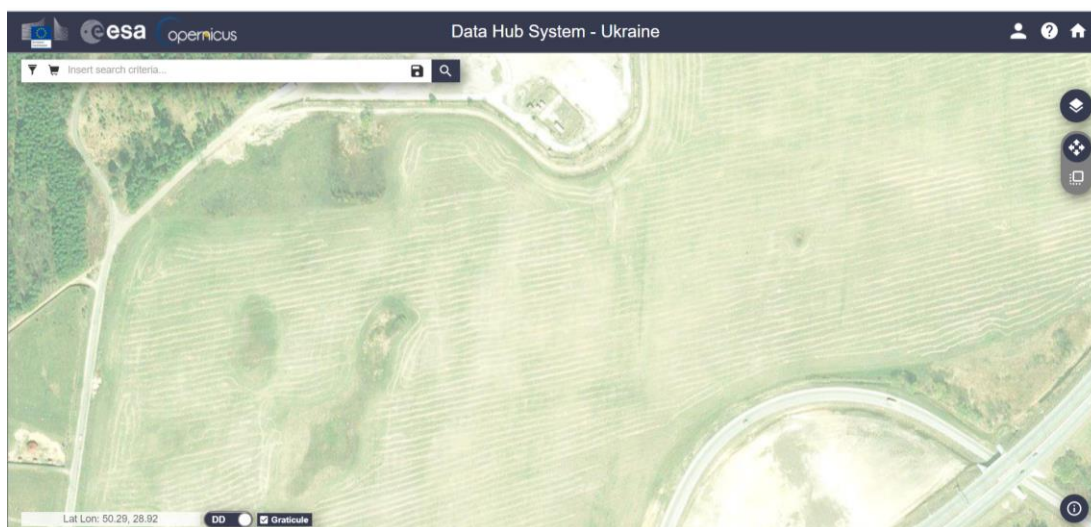


Рис. 2.8. Траєкторії руху агарної техніки на полі , отримані за допомогою онлайн системи: <http://sentinel.spacecenter.gov.ua/#/home>

Використання технології Sentinel [16, 17] дозволяє в реальному часі моніторити стан сільськогосподарських культур під час вегетації використовуючи спеціальні вегетаційні індекси. Це дозволяє чітко визначити зміну стану біомаси.

Висновки до розділу 2

Глобальний флот погодних супутників забезпечує широкий огляд ураганів та зимових штормів та за динамікою стану хмар дозволяє передбачити зливи чи засухи протягом досить тривалого проміжку часу.

Космічне зондування дозволяє виявляти різні типи рослинності та допомагає дуже чітко відрізнити її від внутрішніх водних об'єктів: вода виглядає темно-синьою, тоді як рослинність показано у різних яскравих кольорах. Ця інформація дозволяє отримати карти, що зображують розміщення та динаміку зміни основних сільськогосподарських культур.

Аналіз отриманих даних дозволяє побудувати карти поля, знайти вміст поживних речовин на полях та його зміну протягом року. На підставі даних отриманих в результаті зондування, та з урахуванням точкових проб відбору ґрунту виконати геореференцію ґрунтових площ. Та встановити необхідну додаткову кількість поживних речовин, способи захисту врожаю, та на основі отриманих даних оптимізувати рух сільськогосподарських агрегатів. Використання технології Sentinel дозволяє в реальному часі моніторити стан

сільськогосподарських культур під час вегетації використовуючи спеціальні вегетаційні індекси. Це дозволяє чітко визначити зміну стану біомаси.

Інформація отримана із таких космічних місій, дозволяє приймати управлінські рішення для побудови стратегії сталого розвитку сільськогосподарського виробництва і як наслідок забезпечення продовольчої безпеки та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Для підвищення ефективності рослинницької галузі агровиробники повинні мати актуальну та чітку інформацію про стан сільськогосподарських культур. Цю інформацію дозволить отримати сталий моніторинг вегетаційного стану на основі обробітку даних космічного моніторингу.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОСМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ НА БАЗІ ПОЛІСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

З метою покращення доступу до систем космічного моніторингу землі в Поліському національному університеті створено регіональний інноваційний центр «Полісся» (рис. 3.1).

До складу центру увійшли системи прийому даних зондування Землі:

- система приймання інформації із низькою розподільчою здатністю, яка працює в метровому діапазоні хвиль;
- система приймання інформації в режимі середньої розподільчої здатності на основі антен діаметром 2,5 м (рис. 3.2);
- система приймання інформації в середній розподільчій здатності на основі спеціальної системи типу «Фазан» з антенною діаметром 5 м (рис. 3.3).



Рис. 3.1. Загальна структура центру «Полісся»



Рис. 3.2. Система приймання космічних даних середньої розподільчої здатності із антеною діаметром 2,5 м



Рис. 3.3 Спеціальна система типу «Фазан» з антеною діаметром 5 м.

Система приймання інформації штучних супутників Землі із середньою розподільчою здатністю із антеною 2,5 м дозволяє отримати інформацію із космічних апаратів, що знаходяться на висоті 600-800 км від поверхні Землі. Зокрема такими апаратами є штучні супутники землі NOAA TERRA, AQUA, NOAA та ін. Ці космічні апарати працюють із частотним діапазоном 1,7 ГГц (рис. 3.4). Данні зондування дозволяють отримати прогноз погоди для конкретного місця, отримати завчасну інформацію щодо формажорних явищ, наприклад пожеж чи ураганів. Отримання вчасно такої інформації. Дозволяє значно зменшити заподіяну шкоду.

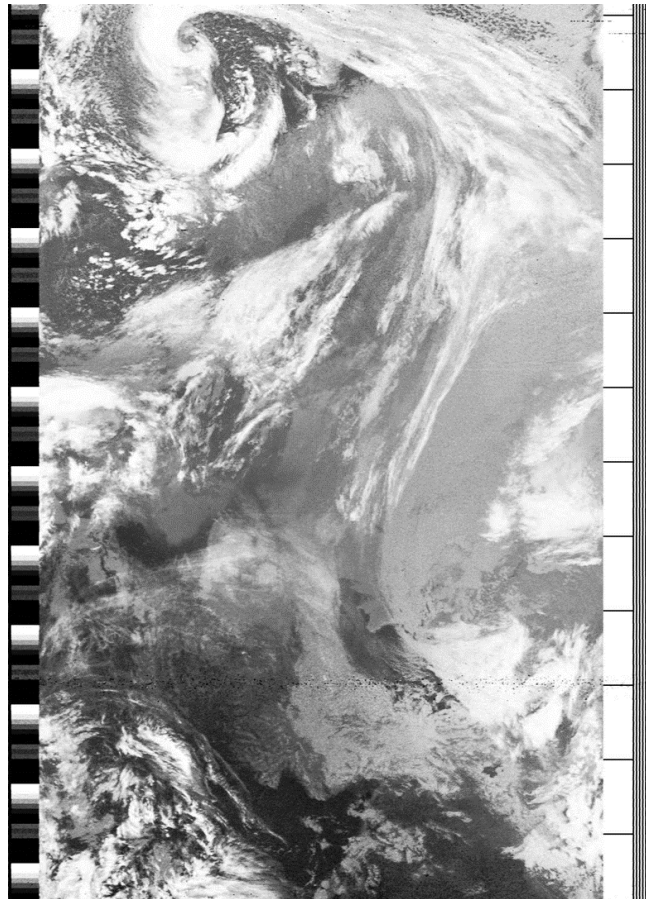


Рис. 3.4. Данні про хмарний покрив отриманні із штучного супутника NOAA –

Система прийому космічної інформації типу «Фазан» з антеною діаметром 5 м. також працює із космічними супутниками на орбіті з висотою 600-800 км. Але система фазан може працювати на частоті 8,2 ГГц, що значно розширює канал інформації, тобто за однаковий проміжок часу система із більшою частотою може отримати більше інформації. Зокрема ця система може успішно працювати із місіями MODIS-TERRA, AQUA, NOAA та ін. Крім того така система, завдяки широкому каналу проходження інформації, здатна працювати із апаратами із високим розподільчим порогом (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Знімок високої розподільчої здатності, отриманий із апарату MODIS-TERRA та оброблений за допомогою системи ArcGis [17].

З метою інтенсифікації використання систем дистанційного зондування Землі в сільському господарстві потрібно:

- удосконалити апаратурно-технічну базу за рахунок використання нового комп'ютерного обладнання;
- використовуючи наявне чи створюючи нове програмне забезпечення, максимально адаптувати системи космічного моніторингу та дистанційного зондування до потреб сільськогосподарських виробників;
- налагодження системи обміну інформацією між науковими та інженерними інституціями;
- підготовка фахівців відповідної кваліфікації.

Висновок до розділу 3

Таким чином основними задачами в межах центру Полісся, щодо космічних технологій є:

1. Створення космічної системи дистанційного зондування Землі із максимальною адаптацією до потреб сільськогосподарського виробництва.
2. Використання геоінформаційної системи ArcGIS, як інструмента для адаптації інформації, що отримані із космічних апаратів до потреб сільськогосподарського виробника.
3. Проведення наукових досліджень із використанням наявних систем космічного зв'язку.
4. Інтеграція у світові космічні проекти та програми.

ВИСНОВКИ

За результатами роботи можна зробити загальний висновок про доцільність використання космічних технологій в аграрному виробництві.

Зокрема, космічні місії погодних супутників забезпечують широкий огляд ураганів та зимових штормів та за динамікою стану хмар дозволяють передбачити зливи чи засухи протягом досить тривалого проміжку часу.

Космічне зондування дозволяє виявляти різні типи рослинності та дозволяє отримати карти, що зображують розміщення та динаміку зміни основних сільськогосподарських культур. Аналіз даних космічного зондування дозволяє побудувати карти поля, знайти вміст поживних речовин на полях та його зміну протягом року. На підставі даних отриманих в результаті зондування можливо встановити необхідну додаткову кількість поживних речовин, способи захисту врожаю та оптимізувати рух сільськогосподарських агрегатів. Перспективним для українських аграріїв є використання технології Sentinel, що дозволяє в реальному часі провести моніторинг стану сільськогосподарських культур. Інформація отримана із використанням технології Sentinel, дозволяє приймати управлінські рішення для побудови стратегії сталого розвитку сільськогосподарського виробництва і як наслідок забезпечення продовольчої безпеки та мінімізації негативного впливу на довкілля. Зокрема, підвищення ефективності рослинницької галузі агровиробники повинні мати актуальну та чітку інформацію про стан сільськогосподарських культур.

Основними задачами центру Полісся, щодо космічних технологій є:

1. Створення космічної системи дистанційного зондування Землі із максимальною адаптацією до потреб сільськогосподарського виробництва.

2. Використання геоінформаційної системи ArcGIS, як інструмента для адаптації інформації, що отримані із космічних апаратів до потреб сільськогосподарського виробника.

3. Проведення наукових досліджень із використанням наявних систем космічного зв'язку.

4. Інтеграція у світові космічні проекти та програми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Agriculture>
2. Golub G., Skydan O., Kukharets V., Yarosh Y., Kukharets S. The estimation of energetically self-sufficient agroecosystem's model. *Journal of Central European Agriculture*. 2020. 21(1). P.168-175. DOI: /10.5513/JCEA01/21.1.2482
3. Білінська В., Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*, 2015; 7 (172): 74-80.
4. Golub G., Kukharets S., Yarosh Y., Zavadzka O. Structural models of agroecosystems and calculation of their energy autonomy. *Engineering for rural development*. 2019. Vol. 18. P. 1344-1350. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N073.
5. Скидан О.В., Голуб Г.А., Кухарець С.М., Ярош Я.Д. Концепція використання космічних систем в агровиробництві. *Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку: 2019 рік : матеріали II Міжн. наук.-практ. конф.*, 7–8 лист. 2019 р. Київ : НУБіП, 2019. С. 7–17.
6. Sánchez N., González-Zamora Á., Martínez-Fernández J., Piles M., Pablos M. Integrated remote sensing approach to global agricultural drought monitoring. *Agric. For. Meteorol.* 2018. Vol. 259. P. 141–153.
7. Zhang, A. Jia, G. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sens. Environ.* 2013. Vol. 134 (7). P. 12–23.
8. Бевз О.С. Показники моніторингу посух в сільському господарстві за допомогою космічних технологій. *Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф.*, 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 136–137.
9. Diak G. Satellite-based estimates of longwave radiation for agricultural applications. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2000. Vol. 103(4). P.349–355.

10. <https://www.ssec.wisc.edu/news/articles/13173>
11. <https://www.nesdis.noaa.gov/content/imagery-and-data>
12. Defourny P., Bontemps S., Belleman, N. Et al. Near real-time agriculture monitoring at national scale at parcel resolution: Performance assessment of the Sen2-Agri automated system in various cropping systems around the world. Remote Sensing of Environment. 2019. #221, P.551–568.
13. <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/copernicus-sentinel-2>
14. <https://phys.org/news/2018-01-image-copernicus-sentinel-2a-satellite-captures.html>
15. <https://agricircle.com/#elementor-action%3Aaction%3Dpopup%3Aopen%20settings%3DeyJpZCI6IjQ1OSIsInRvZ2dsZSI6ZmFsc2V9>
16. <http://sentinel.spacecenter.gov.ua/#/home>
17. <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?layers=8fc23ca40523448f9cf0b66e4a411003>