УДК 629.78 https://doi.org/10.15407/itm2026.03.050

Д. О. ХРАМОВ, https:// orcid.org/0000-0002-1737-7272
О. О. ПИРОЖЕНКО, https://orcid.org/0009-0001-7508-1496

ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ДО ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ СІЛЬСЬКОГО ТА ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна, https://ror.org/003ed9546; e-mail: dakhramov@gmail.com

Сучасний етап розвитку дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу характеризується розширенням використання даних ДЗЗ та вдосконаленням систем спостереження. Тому важливим завданням проєктування перспективної супутникової системи ДЗЗ є визначення сучасного рівня вимог до характеристик даних: просторової роздільної здатності, періодичності зйомки та ширини смуги захоплення. У статті визначено вимоги до характеристик даних ДЗЗ, які необхідні для вирішення широкого спектру завдань сільського та лісового господарства. Для цього на основі аналізу оглядових наукових публікацій було складено переліки завдань, що вирішуються за допомогою ДЗЗ, та розділено на 6 груп завдань сільського господарства (картографування та класифікація, моніторинг стану культур та ґрунтово-водних ресурсів, прогнозування та планування, точне управління, контроль регуляторної політики, економічні та страхові завдання) та 6 груп завдань лісового господарства (інвентаризація лісів, моніторинг їхнього стану та динаміки, контроль лісокористування, боротьба з пожежами, наукові дослідження, підтримка планування). Для кожної групи було відібрано рецензовані наукові публікації, що містять конкретні кількісні вимоги до характеристик даних ДЗЗ. На основі цієї інформації було сформовано вимоги до даних оптичної, теплової та радарної зйомки з космосу. Показано, що для вирішення переважної більшості завдань сільського та лісового господарства достатньо оптичних даних із просторовою роздільною здатністю (2 – 3) м та періодичністю зйомки (2 – 3) доби, даних радарної зйомки з просторовою роздільною здатністю (3 – 5) м і періодичністю (3 – 6) діб, а також даних теплової зйомки з роздільною здатністю 20 м і періодичністю (3 – 5) діб. Найсуворіші вимоги до просторової роздільної здатності висуваються в задачах раннього виявлення бур'янів і шкідників рослин. Боротьба з лісовими пожежами вимагає найвищої періодичності теплової зйомки: (15 – 30) хв.

Ключові слова: *сільське господарство, лісове господарство, дистанційне зондування Землі, оптична зйомка, теплова зйомка, радарна зйомка, просторова роздільна здатність, періодичність зйомки, ширина смуги захоплення.*

The current stage of development in spaceborne Earth remote sensing (ERS) is characterized by the expanding use of ERS data and the improvement of observation systems. Therefore, an important task in designing a promising satellite ERS system is to identify the current requirements for data characteristics: the spatial resolution, imaging frequency, and swath width. This article identifies the requirements for ERS data characteristics necessary to address a wide range of agricultural and forestry tasks. Based on an analysis of the relevant scientific literature, tasks addressed using ERS were listed and divided into six groups of agricultural tasks (mapping and classification, crop and soil/water resource monitoring, forecasting and planning, precision control, regulatory policy oversight, and economic and insurance tasks) and six groups of forestry tasks (forest inventory, forest condition and dynamics monitoring, forest exploitation control, firefighting, scientific research, and planning support). For each group, peer-reviewed scientific publications were selected, which contain specific quantitative requirements for the ERS data characteristics. Based thereon, requirements were identified for optical, thermal, and radar spaceborne imagery. It was shown that, for the overwhelming majority of agricultural and forestry tasks to be resolved, it is sufficient to use optical data with a spatial resolution of 2 to 3 m and a temporal resolution of 2 to 3 days, radar data with a spatial resolution of 3 to 5 m and a temporal resolution of 3 to 6 days, and thermal imagery with a spatial resolution of 20 m and a temporal resolution of 3 to 5 days. The most stringent requirements for spatial resolution are imposed in tasks of early detection of weeds and plant pests. Fighting forest fires requires the highest temporal resolution of thermal imaging: 15 to 30 minutes.

Keywords: *agriculture, forestry, remote sensing, optical imaging, thermal imaging, radar imaging, spatial resolution, temporal resolution, swath width.*

Сфера застосування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу в економіці постійно зростає. Удосконалення знімальної апаратури, збільшення кількості супутників та підвищення частоти зйомки розширюють можливості спостереження. Тому під час розробки перспективної супутникової

© Д. О. Храмов, О. О. Пироженко, 2026

The article is an open access article distributed underthe terms and conditions of the Creative Commons Attributions (CC BY) license (https/creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

системи ДЗЗ актуальним є визначення сучасного рівня вимог до даних ДЗЗ, необхідних для вирішення прикладних задач.

Прикладні завдання, що розглядаються в статті, належать до таких важливих для економіки України галузей, як сільське та лісове господарство. У цих галузях активно використовують дані ДЗЗ. Вони також містять проривні завдання, вирішення яких за допомогою перспективних супутникових угруповань ДЗЗ може дати значні переваги порівняно з наявними рішеннями та сприяти розвитку економічного потенціалу України.

Сільське господарство є однією з ключових галузей економіки України та провідною експортною галуззю країни. Точна та своєчасна інформація про стан посівів і ґрунту, оцінка якості та кількості майбутнього врожаю і, як наслідок цього, прогноз цін на сільськогосподарську продукцію має істотний вплив як на економіку країни, так і на світову торгівлю сільгосппродукцією. Застосування даних ДЗЗ дозволяє підвищити ефективність на кожному етапі сільськогосподарських робіт, оптимізувати кількість вносимих матеріалів, знизити витрати та збільшити врожайність.

Сучасне лісове господарство покликане забезпечити досягнення балансу між потребами людини та збереженням лісових ресурсів. Дані ДЗЗ з космосу широко застосовуються для інвентаризації лісів (таксації) з метою визначення якісних і кількісних характеристик лісових масивів, виявлення та оцінки площ лісу, що постраждали від незаконних вирубок, шкідників, пожеж, вітровалів тощо. Підписання Україною ключових договорів щодо боротьби з антропогенною зміною клімату та її негативними наслідками – Кіотського протоколу та Паризької угоди – накладає на неї зобов’язання щодо регулярного обліку потоків і запасів вуглецю лісу, що здійснюється за допомогою даних ДЗЗ.

Метою даної роботи є оцінка вимог до характеристик даних ДЗЗ для вирішення широкого спектра завдань сільського та лісового господарства. Для цього було визначено основні завдання галузей, у вирішенні яких використовуються дані ДЗЗ. Потім було визначено вимоги до даних, необхідних для вирішення зазначених завдань на сучасному рівні. Визначення завдань і вимог до даних здійснювалося на основі аналізу наукової літератури.

Аналізу застосування методів ДЗЗ з космосу у сільському та лісовому господарстві лише за останні кілька років присвячено десятки оглядових наукових публікацій [1–16]. Однак усі вони, наскільки відомо авторам, містять вимоги до даних для вирішення окремих завдань або груп завдань (наприклад, інвентаризації лісу, точного землеробства тощо) і не охоплюють потреб зазначених галузей у цілому.

Спостереження за Землею з космосу, як правило, здійснюється у трьох діапазонах електромагнітного випромінювання: оптичному, теплово-му та мікрохвильовому. Найбільшого поширення в практиці ДЗЗ набули прилади оптичного спостереження, що працюють у діапазонах видимого, ближнього інфрачервоного та короткохвильового інфрачервоного випромінювання (довжини хвиль (400 – 3000) нм). Теплові датчики працюють у діапазоні теплового інфрачервоного випромінювання (довжини хвиль (8000 – 14000) нм). Ці прилади дають змогу виявляти осередки загорянь, а також використовуються для оцінки вологості ґрунту та евапотранспірації рослин. Радари, що працюють у мікрохвильовому діапазоні (довжини хвиль від 1 мм до 1 м), дають змогу здійснювати всепогодний моніторинг у денний та нічний час. Далі ми розглянемо

вимоги до даних ДЗЗ із космосу, отриманих за допомогою оптичного, теплового та радарного спостереження. Дані про супутники ДЗЗ та їхню знімальну апаратуру взято з веб-ресурсів: Satellite Missions catalogue (https://www.eoportal.org/satellite-missions/) та WMO OSCAR (https://space.oscar.wmo.int/spacecapabilities).

Завдання сільського та лісового господарства. Аналіз оглядів [1 – 7] дозволив скласти перелік завдань сільського господарства, вирішення яких ґрунтується на даних ДЗЗ з космосу (табл. 1).

Табл. 1. – Завдання ДЗЗ у галузі сільського господарства

№	Назва
A.1	Загальні завдання картографування та класифікації
A.1.1.1	Визначення меж сільськогосподарських полів
A.1.1.2	Класифікація типів сільськогосподарських культур та картографування їх розподілу
A.1.1.3	Виявлення змін у землекористуванні та рослинному покриві
A.2	Моніторинг та оцінка стану
A.2.1	Моніторинг стану сільськогосподарських культур
A.2.1.1	Загальна оцінка стану сільськогосподарських культур з використанням вегетаційних індексів (NDVI та ін.)
A.2.1.2	Виявлення аномалій розвитку рослин за вегетаційними індексами
A.2.1.3	Виявлення стресу у сільськогосподарських культур (посуха, тепловий стрес, дефіцит поживних речовин)
A.2.1.4	Виявлення осередків ураження сільськогосподарських культур внаслідок стихійних явищ (град, зливи, повені, урагани, посуха, пожежі)
A.2.1.5	Виявлення спалахів шкідників та хвороб
A.2.1.6	Оцінка площ, що постраждали від хвороб та шкідників
A.2.1.7	Моніторинг фенології та стадій росту сільськогосподарських культур
A.2.1.8	Моніторинг ефективності внесення засобів захисту рослин (пестицидів)
A.2.1.9	Оцінка якості сільськогосподарської продукції (зокрема, прогноз вмісту білка, клейковини, цукристості)
A.2.2	Моніторинг ґрунтових та водних ресурсів
A.2.2.1	Картографування вологості ґрунту
A.2.2.2	Оцінка властивостей та якості ґрунту (наприклад, вмісту органічних речовин, текстури)
A.2.2.3	Картографування вмісту азоту, фосфору та калію
A.2.2.4	Оцінка евапотранспірації для аналізу водоспоживання
A.2.2.5	Картографування та моніторинг іригаційних систем
A.2.2.6	Виявлення осередків забруднення поверхні ґрунту важкими металами
A.2.2.7	Картографування засоленості ґрунтів
A.2.2.8	Моніторинг водної та вітрової ерозії ґрунтів
A.3	Прогнозування та планування
A.3.1	Прогнозування врожайності та виробництва
A.3.1.1	Оцінка схожості сільськогосподарських культур

№	Назва
А.3.1.2	Прогнозування та моніторинг термінів настання фенофаз (зокрема, термінів збору врожаю)
А.3.1.3	Прогнозування та оцінка врожайності сільськогосподарських культур
А.3.2	Управління ризиками та раннє попередження
А.3.2.1	Системи раннього попередження про посухи та повені
А.3.2.2	Оцінка впливу погодних умов на врожай
А.3.2.3	Прогнозна аналітика ризиків, пов’язаних зі шкідниками та хворобами
А.3.2.4	Оцінка ризиків та наслідків кліматичних змін (аналіз зміщення кліматичних зон)
А.3.2.5	Моделювання вуглецевого балансу агроекосистем
А.3.3	Сільськогосподарське планування та управління
А.3.3.1	Планування використання сільськогосподарських земель
А.3.3.2	Оцінка деградації сільськогосподарських земель та потреб у їх охороні
А.4	Точне управління та оптимізація
А.4.1	Управління водними ресурсами
А.4.1.1	Оптимізація графіка та частоти зрошення
А.4.1.2	Розподіл водних ресурсів та управління ними
А.4.2	Управління поживними речовинами та ґрунтом
А.4.2.1	Картографування зон родючості (продуктивності) за фактичною врожайністю або за вегетаційними індексами
А.4.2.2	Застосування поживних речовин із змінним дозуванням (азот, фосфор, калій)
А.4.3	Боротьба з бур’янами та шкідниками
А.4.3.1	Картографування осередків підвищеного забур’янення для цілеспрямованої боротьби
А.4.3.2	Боротьба зі шкідниками та хворобами з урахуванням специфіки місцевості
А.5	Контроль за дотриманням регуляторної політики
А.5.1.1	Перевірка звітності сільськогосподарських підприємств (підтвердження засіяних площ, дотримання сівозмін)
А.5.1.2	Контроль за дотриманням практик ресурсозберігаючого землеробства (зокрема, виявлення оранки, застосування покривних культур, визначення дати їх видалення з поля)
А.5.1.3	Контроль за дотриманням сільськогосподарської політики (наприклад, вимог щодо диверсифікації сільськогосподарських культур)
А.6	Економічні та страхові завдання
А.6.1.1	Об’єктивна оцінка збитків та площ втрат для врегулювання страхових випадків
А.6.1.2	Прогнозування обсягів виробництва та цін на основі оцінки врожайності в ключових регіонах

Завдання лісового господарства, які вирішуються за допомогою даних ДЗЗ з космосу, наведено в табл. 2 [8–16].

Табл. 2. – Завдання ДЗЗ у галузі лісового господарства

№	Назва
F.1	Інвентаризація та картографування лісів (базові завдання)
F.1.1.1	Картографування лісового покриву та його типів
F.1.1.2	Таксація деревостанів: породний склад, висота, структура
F.1.1.3	Оцінка запасів деревини та надземної фітомаси
F.2	Моніторинг стану та динаміки лісів
F.2.1.1	Оцінка життєздатності та продуктивності (вегетаційні індекси, фенологія)
F.2.1.2	Виявлення порушень: вітровали, хвороби, спалахи шкідників, наслідки посух
F.2.1.3	Моніторинг інвазивних видів
F.2.1.4	Моніторинг змін: знеліснення, деградація, лісовідновлення
F.2.1.5	Оцінка змін у землекористуванні
F.3	Контроль лісокористування та охорона лісів
F.3.1.1	Виявлення незаконних вирубок
F.3.1.2	Моніторинг легальних лісозаготівель
F.3.1.3	Контроль лісовідновлення
F.3.1.4	Виявлення нової інфраструктури (дороги, просіки)
F.4	Боротьба з лісовими пожежами (оперативний та післяоперативний моніторинг)
F.4.1.1	Виявлення активних осередків горіння (hotspots)
F.4.1.2	Оцінка інтенсивності та теплової енергії пожеж (fire radiative power)
F.4.1.3	Аналіз вразливості та прогнозування пожежної небезпеки
F.4.1.4	Моніторинг поширення пожежі та димових шлейфів
F.4.1.5	Картографування площ, охоплених вогнем, та оцінка збитків
F.5	Наукові дослідження та глобальний моніторинг
F.5.1.1	Оцінка запасів вуглецю та вуглецевого балансу екосистем
F.5.1.2	Оцінка біорізноманіття та структурної складності лісів
F.5.1.3	Моніторинг впливу зміни клімату на лісові екосистеми
F.5.1.4	Картографування ключових параметрів: вологість ґрунтів, стан мерзлоти
F.5.1.5	Прогнозування майбутнього стану лісу з використанням моделей росту
F.6	Підтримка планування лісогосподарської діяльності
F.6.1.1	Проєктування лісової інфраструктури
F.6.1.2	Визначення ділянок для проведення санітарних та лісовідновлювальних робіт

Визначення вимог до цільових характеристик даних ДЗЗ. До основних цільових характеристик знімальної апаратури ДЗЗ належать: просторова роздільна здатність, склад спектральних каналів, періодичність зйомки та ширина смуги охоплення.

Просторова роздільна здатність характеризує розмір найменших об’єктів, які можна розрізнити на знімку. Відповідно до величини просторової роздільної здатності спектральних каналів діапазону видимого світла,

розрізняють дані: низької роздільної здатності (від 100 м до 1000 м), середньої роздільної здатності (від 10 м до 100 м), високої роздільної здатності (від 1 м до 10 м) та надвисокої роздільної здатності (менше 1 м).

Склад спектральних каналів характеризується кількістю каналів, їхньою спектральною роздільною здатністю та вибором діапазонів спектра. Спектральна роздільна здатність – це ширина діапазону спектра електромагнітних хвиль, що реєструються у спектральному каналі знімальної апаратури. Далі ми не висуваємо вимог до спектральних характеристик знімальної апаратури (а також до набору комбінацій поляризацій для радарів), оскільки це не потрібно для балістичного проєктування супутникової групіровки.

Періодичність зйомки (або часова роздільна здатність) – це інтервал часу між послідовним отриманням даних ДЗЗ однієї й тієї ж ділянки поверхні Землі.

Смуга захоплення – це умовна смуга на поверхні Землі, ширина якої визначається поперечним кутом поля зору об'єктива знімальної апаратури, а також довжиною фотоприймального пристрою, що знаходиться у фокальній площині об'єктива.

Використання даних ДЗЗ розглядається на різних рівнях просторової деталізації: оглядовому, основному та детальному. Оглядовий рівень передбачає виявлення великих груп об'єктів та визначення їхніх загальних характеристик. За займаною площею – це рівень району, області та вище. Основний рівень деталізації дає оцінку геометрії та основних характеристик окремих об'єктів (рівень сільськогосподарського підприємства або лісгоспу). Детальний рівень стосується визначення геометрії та характеристик усередині складного об'єкта (рівень окремого поля або ділянки).

Більшість завдань сільського та лісового господарства оглядового та основного рівнів деталізації наразі вирішуються за допомогою загальнодоступних супутникових даних. Прикладами таких даних є оптичні дані середньої просторової роздільної здатності Sentinel-2 MSI, Landsat 8/9 OLI/OLI-2 та низької просторової роздільної здатності Terra/Aqua MODIS, NOAA VIIRS і Sentinel-3 SLSTR, дані теплової інфрачервоної зйомки Landsat 8/9 TIRS/TIRS-2, ECOSTRESS та ASTER, а також радарні дані Sentinel-1 та ALOS-1/2.

Під час розробки вимог до даних ДЗЗ перспективного супутникового угруповання ми розглядали завдання детального рівня спостережень, для вирішення яких загальнодоступних даних недостатньо. Мінімальний рівень вимог, на нашу думку, має бути не гіршим за рівень існуючих даних, що застосовуються для вирішення тієї ж задачі. Максимальний рівень вимог має забезпечувати суттєвий прогрес у вирішенні задачі, відкривати нові її грані. Пояснимо це на прикладі задачі виявлення збору врожаю на сільськогосподарських полях. Загальнодоступні оптичні дані Sentinel-2 дозволяють виділити зібрані поля лише за непрямими ознаками, оскільки просторова роздільна здатність даних (10 м) перевищує ширину жатки комбайна. Порівняно невелике поліпшення просторової роздільної здатності – до (3 – 5) м – дозволить побачити на полі характерні смуги, спричинені роботою комбайнів, і таким чином безпосередньо визначати зібрані поля. Подальше збільшення просторової роздільної здатності дозволить спостерігати за методом обходу поля комбайном і, у перспективі, надавати рекомендації щодо техніки обробки поля.

Для збору інформації було проведено веб-пошук англійською мовою. Пошукові запити охоплювали укрупнені блоки завдань (табл. 1, 2), а також роздільну здатність і періодичність даних ДЗЗ. Зі знайдених результатів за критеріями релевантності заголовка та анотації було відібрано джерела, що належать до рецензованих наукових публікацій. Критерієм включення джерела була наявність у тексті статті конкретних кількісних параметрів – величини просторової роздільної здатності та/або періодичності зйомки – стосовно

конкретного завдання. Дані з включених джерел [6, 7, 11, 17 – 28] використовувалися для синтезу діапазонів значень характеристик даних ДЗЗ.

Вимоги до оптичної, теплової та мікрохвильової зйомки з космосу наведено на рис. 1 – 3 [29]. Для кожного завдання вказано діапазони вимог до просторової роздільної здатності та вимоги до мінімального проміжку часу між зйомками. По осі абсцис завдання впорядковано за величиною мінімальної необхідної просторової роздільної здатності.

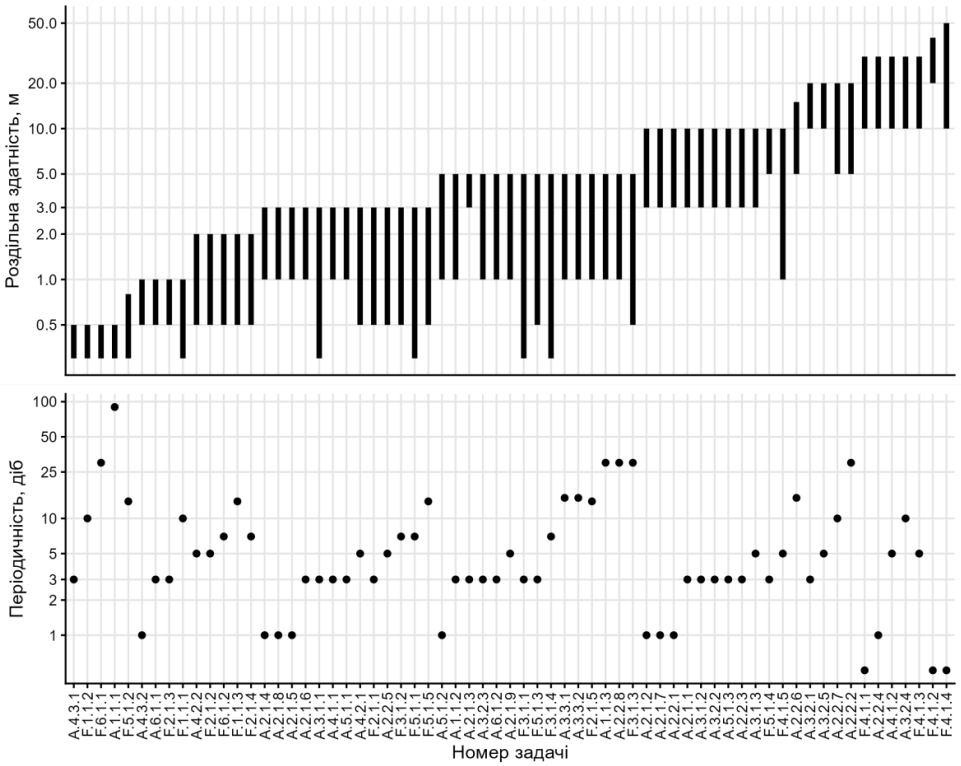


Рис. 1 – Вимоги до просторової роздільної здатності та періодичності оптичної зйомки

Ширина смуги захоплення залежить не лише від висоти польоту та просторової роздільної здатності, а й від конструкції датчика ДЗЗ, яка нам невідома. Тому при оцінці ширини смуги захоплення ми спиралися на вимоги до просторової роздільної здатності та співвідношення ширини смуги захоплення до просторової роздільної здатності для відомих сучасних комерційних супутників ДЗЗ, що працюють у діапазоні орбіт (500 – 700) км. Для оптичного ЗЗ використовувалося співвідношення $1{,}1 \cdot 10^4$ (WorldView-3), використовувалася роздільна здатність мультиспектральних каналів видимого світла), для теплових – $1{,}3 \cdot 10^3$ (SatVu HotSat-1), для радарних – $1{,}0 \cdot 10^4$ (ICEYE, Strip mode).

Зазначимо, що види зйомки розглядалися нами окремо. На практиці вони часто застосовуються у комплексі, що дозволяє компенсувати недоліки одних даних за рахунок переваг інших.

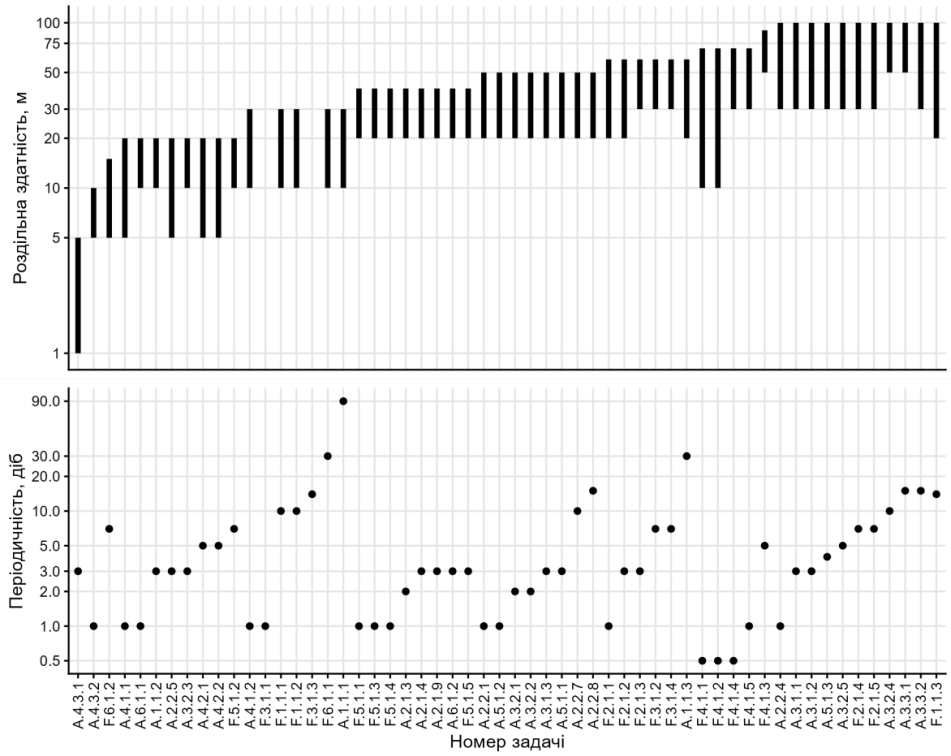


Рис. 2 – Вимоги до просторової роздільної здатності та періодичності теплової зйомки

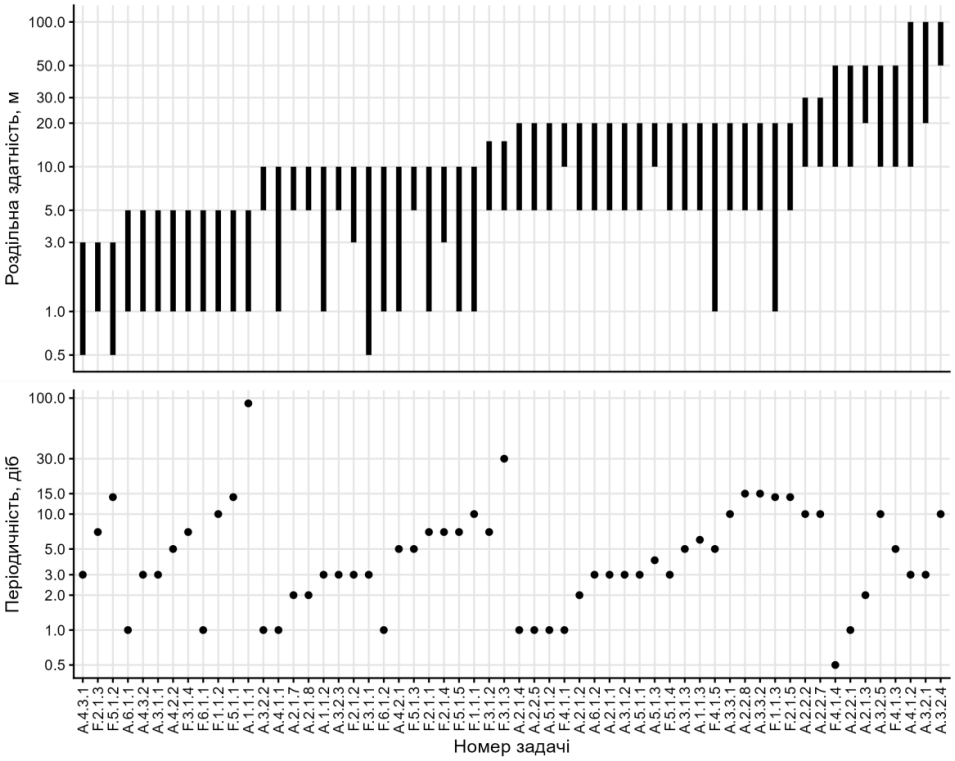


Рис. 3 – Вимоги до просторової роздільної здатності та періодичності радарної зйомки

Висновки. Оптична зйомка застосовується для вирішення всіх 65 завдань сільського та лісового господарства, перелічених у табл. 1, 2. Аналіз вимог до даних ДЗЗ показав, що для вирішення переважної більшості завдань достатньо просторової роздільної здатності (2 – 3) м, періодичності зйомки (2 – 3) доби та ширини смуги захоплення (20 – 35) км. Більш суворі вимоги щодо просторової роздільної здатності висуваються, зокрема, у завданнях з раннього виявлення та боротьби з бур'янами й шкідниками рослин, а також у завданнях лісової таксації. Однак видається, що такі завдання доцільно вирішувати за допомогою безпілотних літальних апаратів.

У більшості завдань сільського та лісового господарства достатньо даних зйомки з космосу в тепловому інфрачервоному діапазоні, що мають просторову роздільну здатність 20 м, періодичність (3 – 5) діб та ширину смуги захоплення не менше 25 км. Схожість вимог до періодичності теплової та оптичної зйомки дозволяє рекомендувати розміщення відповідних датчиків на одному супутнику, як це робиться на апаратах Landsat. Боротьба з лісовими пожежами вимагає значно вищої частоти зйомки порівняно з іншими завданнями. В ідеалі для виявлення лісових пожеж необхідні теплові дані з періодичністю (15 – 30) хв., як у геостаціонарних супутників, але з просторовою роздільною здатністю (20 – 30) м (на відміну від одиниць кілометрів у геостаціонарних апаратів).

До радарної зйомки в більшості завдань висуваються такі вимоги: просторова роздільна здатність (3 – 5) м, періодичність (3 – 6) діб і ширина смуги захоплення – (30 – 50) км.

1. *Sishodia R. P., Ray R. L., Singh S. K.* Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. Remote Sensing. 2020. V. 12, № 19. P. 3136. https://doi.org/10.3390/rs12193136
2. *Weiss M., Jacob F., Duveiller G.* Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. Remote Sensing of Environment. 2020. V. 236. P. 111402. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402
3. *Yang C.* High resolution satellite imaging sensors for precision agriculture. Frontiers of Agricultural Science and Engineering. 2018. V. 5, № 4. P. 393–405.
4. *Feng L. et al.* A comprehensive review on recent applications of unmanned aerial vehicle remote sensing with various sensors for high-throughput plant phenotyping. Computers and Electronics in Agriculture. 2021. V. 182. P. 106033. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106033
5. *Heiss N. et al.* A Review: Potential of Earth Observation (EO) for Mapping Small-Scale Agriculture and Cropping Systems in West Africa. Land. 2025. V. 14, № 1. P. 171. https://doi.org/10.3390/land14010171
6. *Zhang C., Marzougui A., Sankaran S.* High-resolution satellite imagery applications in crop phenotyping: An overview. Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 175. P. 105584. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105584
7. *Nguyen T. T. et al.* Satellite-based data for agricultural index insurance: a systematic quantitative literature review. Natural Hazards and Earth System Sciences. 2025. V. 25, № 2. P. 913–927. https://doi.org/10.5194/nhess-25-913-2025
8. *Guiop-Servan R. E. et al.* Remote Sensing for Wildfire Mapping: A Comprehensive Review of Advances, Platforms, and Algorithms. Fire. 2025. V. 8, № 8. P. 316. https://doi.org/10.3390/fire8080316
9. *Saimun Md. S. R., Rahman M. M.* A comprehensive review of tree cover mapping using satellite sensor data. Discover Geoscience. 2025. V. 3, № 1. https://doi.org/10.1007/s44288-025-00201-x
10. *Ahmad A., Gilani H., Ahmad S. R.* Forest Aboveground Biomass Estimation and Mapping through High-Resolution Optical Satellite Imagery — A Literature Review. Forests. 2021. V. 12, № 7. P. 914. https://doi.org/10.3390/f12070914
11. *Fassnacht F. E. et al.* Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions. Forestry: An International Journal of Forest Research. 2023. V. 97, № 1. P. 11–37. https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024
12. *Peng X. et al.* GF-1 WFV satellite images based forest cover mapping in China supported by open land use/cover datasets. Scientific Data. 2024. V. 11, № 1. https://doi.org/10.1038/s41597-024-04202-2
13. *Shojanoori R., Shafri H.* Review on the Use of Remote Sensing for Urban Forest Monitoring. Arboriculture & Urban Forestry. 2016. V. 42, № 6. https://doi.org/10.48044/jauf.2016.034
14. *Tian L. et al.* Review of Remote Sensing-Based Methods for Forest Aboveground Biomass Estimation: Progress, Challenges, and Prospects. Forests. 2023. V. 14, № 6. P. 1086. https://doi.org/10.3390/f14061086

15. *Stoddart J. et al.* Continuous Cover Forestry and Remote Sensing: A Review of Knowledge Gaps, Challenges, and Potential Directions. Current Forestry Reports. 2023. V. 9, № 6. P. 490–501. https://doi.org/10.1007/s40725-023-00206-0
16. *Hall R. J. et al.* Remote sensing of forest pest damage: a review and lessons learned from a Canadian perspective. The Canadian Entomologist. 2016. V. 148, № S1. P. S296–S356. https://doi.org/10.4039/tce.2016.11
17. *Löw F., Duveiller G.* Defining the Spatial Resolution Requirements for Crop Identification Using Optical Remote Sensing. Remote Sensing. 2014. V. 6, № 9. P. 9034–9063. https://doi.org/10.3390/rs6099034
18. *Lu C., Li Y., Wang C.* Ultra-wide agricultural remote sensing satellite and its multispectral remote sensing applications. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXVII / ed. by Neale C. M. U. et al. SPIE, 2025. P. 29. https://doi.org/10.1117/12.3069687
19. *Whitcraft A. et al.* Meeting Earth Observation Requirements for Global Agricultural Monitoring: An Evaluation of the Revisit Capabilities of Current and Planned Moderate Resolution Optical Earth Observing Missions. Remote Sensing. 2015. V. 7, № 2. P. 1482–1503. https://doi.org/10.3390/rs70201482
20. *Ganepola G. A. C. et al.* Roadmap for leveraging satellite data to advance soil moisture monitoring in Mainland Southeast Asia. Vadose Zone Journal. 2026. V. 25, № 3. https://doi.org/10.1002/vzj2.70107
21. *Lozac'h L. et al.* Sentinel-1/Sentinel-2-Derived Soil Moisture Product At Plot Scale (S^2MP). 2020 Mediterranean and Middle-East Geoscience and Remote Sensing Symposium (M2GARSS). 2020. P. 168–171. https://doi.org/10.1109/M2GARSS47143.2020.9105210
22. *Buffet L. et al.* The TIR instrument on TRISHNA satellite: a precursor of high resolution observation missions in the thermal infrared domain. International Conference on Space Optics — ICSO 2020 / ed. by Sodnik Z., Cugny B., Karafolas N. SPIE, 2021. https://doi.org/10.1117/12.2599173
23. *Xue J. et al.* Improving the spatiotemporal resolution of remotely sensed ET information for water management through Landsat, Sentinel-2, ECOSTRESS and VIIRS data fusion. Irrigation Science. 2022. V. 40, № 4-5. P. 609–634. https://doi.org/10.1007/s00271-022-00799-7
24. *Gao F. et al.* Assessing the Variability of Corn and Soybean Yields in Central Iowa Using High Spatiotemporal Resolution Multi-Satellite Imagery. Remote Sensing. 2018. V. 10, № 9. P. 1489. https://doi.org/10.3390/rs10091489
25. *Molnár T., Király G.* Forest Disturbance Monitoring Using Cloud-Based Sentinel-2 Satellite Imagery and Machine Learning. Journal of Imaging. 2024. V. 10, № 1. P. 14. https://doi.org/10.3390/jimaging10010014
26. *Jiao L., Bo Y.* Near real-time mapping of burned area by synergizing multiple satellites remote-sensing data. GIScience & Remote Sensing. 2022. V. 59, № 1. P. 1956–1977. https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2143690
27. *White J. C. et al.* Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review. Canadian Journal of Remote Sensing. 2016. V. 42, № 5. P. 619–641. https://doi.org/10.1080/07038992.2016.1207484
28. *Hadi H. et al.* Monitoring Deforestation in Rainforests Using Satellite Data: A Pilot Study from Kalimantan, Indonesia. Forests. 2018. V. 9, № 7. P. 389. https://doi.org/10.3390/f9070389
29. *Pirozhenko O. O., Khramov D. O.* Requirements for Earth observation data from space for agriculture and forestry. 2026.

Стаття надійшла до редакції 17.08.2026;
прийнято до друку після рецензування 03.09.2026;
дата публікації 28.09.2026