

Зацерковний В. Обґрунтування вибору знімальної системи для моніторингу агроресурсів / Зацерковний В., Кривобець С. // Вісник ТНТУ. — 2011. — Том 17. — № 2. — С.139-149. — (приладобудування та інформаційно-вимірвальні технології).

УДК: 004.6:528.88

**В. Зацерковний, канд. техн. наук;  
С. Кривоберець**

*Чернігівський державний інститут економіки і управління*

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗНІМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АГРОРЕСУРСІВ**

**Резюме.** Розглянуто технології та супутникові системи, що дозволяють практичне використання даних ДЗЗ для моніторингу стану агроресурсів, прогнозування урожайності й аналізу стану сільськогосподарських земель. Сформульовано вимоги до системи моніторингу. Показано основні переваги знімальної системи MODIS для вирішення завдання моніторингу агроресурсів, описано характеристики і знімальні канали радіометра MODIS, набори стандартних похідних продуктів супутникових даних, зазначено галузі їх застосування.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі (ДЗЗ), моніторинг, сільськогосподарські землі.

**V. Zatcerkovnyi, S. Krivoberets**

## **A GROUND OF CHOICE OF THE SURVEY SYSTEM FOR MONITORING OF AGRO-RESOURCES**

**The summary.** Technologies and satellite systems which allow practical use of remote sensing of the earth for monitoring of a condition of agro-resources, forecasting of productivity and analysis of a condition of farmlands are considered. There are the formulated system requirements monitoring. Basic advantages of the survey system MODIS are rotined for the decision of task of monitoring of agro-resources, described descriptions and survey ductings of radiometer of MODIS, sets of standard derivative products of satellite information, noted industries of their application.

**Key words:** remote sensing (RS), monitoring, agricultural land.

**Постановка проблеми.** В Україні зосереджено близько 27% світових запасів чорноземних ґрунтів, однак сучасний стан яких викликає серйозне занепокоєння [1]. На сьогодні у більшості сільськогосподарських (с/г) суб'єктів України триває зниження родючості ґрунтів. Ґрунтовий покрив зазнає деградації й забруднення, втрачає стійкість до руйнування, здатність до відновлення властивостей і відтворення родючості.

У зв'язку з появою великої кількості власників землі й наявністю с/г товаровиробників різних форм власності, завдання управління с/г виробництвом стоять як ніколи гостро, а ефективне їх вирішення неможливе без здійснення державного моніторингу с/г земель. Велика кількість землі знаходиться в оренді, а сучасні орендарі ведуть, як правило, виснажливе землеробство – величезна кількість землі підлягає інтенсивному обробітку з високим відсотком просапних культур, що призвело до прогресуючих процесів ерозії. Державні заходи щодо охорони земель практично припинені. Серед існуючих сучасних методів моніторингу агроресурсів найефективнішими є методи, засновані на використанні геоінформаційних систем (ГІС) та інформації дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методологія космічних досліджень і методи застосування ДЗЗ для моніторингу великою мірою розвинулися завдяки працям

відомих учених В. Кононова, Г. Коротаєва, В. Лялька, М. Мірошникова, Б. Нелепо, М. Попова, С. Станкевича, О. Федоровського, В. Цимбала. Теоретико-методичні основи застосування ГІС і матеріалів ДЗЗ у галузі природоохорони та землезнавства наведені в працях С. Довгого, В. Лялька, В. Шестопалова, М. Якимчука та інших учених.

**Мета роботи** – формування вимог до системи моніторингу агроресурсів за допомогою ДЗЗ та обґрунтування вибору знімальної системи.

**Постановка завдання.** Для здійснення ефективного моніторингу с/г земель за допомогою даних дистанційного зондування (ДДЗ) необхідно обрати оптимальну знімальну систему з існуючих на сьогодні та розробити алгоритми опрацювання даних, на вибір яких впливає низка факторів (необхідність використання даних зйомки в зонах спектра, у яких щонайкраще розрізняються рослинність і ґрунтовий покрив, неповне проективне покриття ґрунтового покриву рослинністю протягом значної частини періоду вегетації, характерні розміри с/г полів, необхідність проведення моніторингу на великій території, швидка динаміка розвитку с/г культур, залежність динаміки розвитку культур від проведених агротехнічних заходів, наявність певних правил землекористування, значні відмінності у динаміці вегетації різних с/г культур та використанні орних земель у різних регіонах країни). Ці фактори висувають певні вимоги до знімальної системи та алгоритмів обробки ДДЗ, які повинні забезпечувати наявність знімальних каналів у червоній і ближній ІЧ зонах спектра, просторову розрізненість зйомки не гірше 250–300 м, періодичність зйомки не рідше ніж один безхмарний вимір за 5–10 днів, незалежність алгоритмів обробки від спектральних властивостей підстильного ґрунтового покриву, універсальність алгоритмів обробки стосовно різних кліматичних умов, методів агротехніки, мінімальну участь експертів у процесі обробки даних.

**Результати дослідження.** При сучасному веденні землеробства в Україні існує реальна загроза втрати родючості ґрунту. Зменшення площ парів спричинило посилення процесів деградації ґрунтів. Щороку виводяться з використання до 1 тис.га площ орних земель. Загальна площа еродованих земель досягає 20 % площі угідь. За останні 15–20 років уміст гумусу знизився з 3,5% до 3,2% [1]. Однією з причин цього є збільшення фізичного впливу на ґрунт. Найінтенсивніше знижується гумусність найбільш родючих ґрунтів. За таких умов через 100 років земля перетвориться на безплідний субстрат, де вирощувати продукцію буде можливо лише в разі внесення великої кількості мінеральних добрив, а це небезпечно для здоров'я. Нова економічна ситуація на селі, реформування земельних відносин і розвиток багатоукладного сільського господарства потребують нових підходів до управління процесами охорони земель, відтворення родючості ґрунтів, контролю, стимулювання та раціонального використання, що неможливо створити без ефективного державного моніторингу [3].

Система моніторингу агроресурсів повинна:

- функціонувати в режимі реального часу, забезпечуючи високу оперативність обробки великих (або надвеликих) потоків даних;
- забезпечити високі вимоги до достовірності й точності результатів аналізу, до форми і якості подання кінцевих результатів, що викликані високою вартістю можливих помилок;

- надавати можливість використання усього розмаїття вимірювальної інформації – за фізичною природою, видом подання, великою кількістю програмно-апаратних засобів, що виступають джерелами даних тощо;
- вирішувати широке коло задач (спостереження, контроль, діагностування, прогнозування, управління) моніторингу;
- бути відносно простою, не потребуючи високої кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- забезпечувати уніфікацію, модульність і масштабованість, можливість швидкої комплектації спеціалізованих програмно-апаратних комплексів.

Використання методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в інтересах с/г виробників сприяє формуванню нових аграрних технологій, с/г менеджменту і стратегічного планування. Україна – велика аграрна держава, яка хоч і має власну національну космічну програму, але, на жаль, не може похвалитися досягненнями у сфері використання даних ДЗЗ для с/г потреб.

За допомогою методів ДЗЗ можна кількісно оцінювати площі, зайняті с/г культурами, визначати фази розвитку рослин, проблеми стану посівів (нерівномірність визрівання, ураження шкідниками та хворобами, нестачу поживних речовин, загибель від несприятливих метеорологічних умов), а також прогнозувати врожайність [2].

Одним із важливих методичних питань дистанційного зондування є точність ідентифікації досліджуваних посівів на супутниковому зображенні й збіжності результатів відновлення спектральних відбивних характеристик об'єктів зйомки з даними підсупутникових вимірів. Його вирішення дозволить оцінити можливості використання розроблених раніше методик аерофотометричних обстежень стану посівів основних с/г культур в Україні [4] для визначення оцінки їх стану і прогнозу урожайності за даними багатоспектральної супутникової зйомки. Складові моніторингу земель с/г призначення представлені на рис. 1.



Рисунок 1. Складові космічного моніторингу агроресурсів

Дані ДЗЗ характеризуються надійністю, оперативністю їх отримання й масштабістю (миттєве обстеження як окремих об'єктів земної поверхні на знімках високої просторової розрізненості, так і великих регіонів на знімках низької розрізненості). Широке застосування отримали дані спектрометричних вимірів земної

поверхні з метеорологічних і природоресурсних штучних супутників Землі LANDSAT (США), SPOT (Франція), РЕСУРС (Росія), IRS (Індія), NOAA (США) та інших. Багаторічний досвід наукового аналізу супутникової інформації свідчить про принципову можливість використання даних багатоспектральної супутникової зйомки для моніторингу посівів с/г культур: визначення структури посівних площ, параметрів рослинного покриву, стану польових культур та інших інформативних ознак [5].

Природоресурсні супутники типу „Ресурс“ можуть виконувати зйомку заданого масиву полів 2–3 рази на місяць з високою розрізненістю на місцевості (для сканера МСУ–Э це менше 45 м, для сканера МСУ СК – 175 м). Одним знімком можна охопити територію, що за площею відповідає адміністративному району (МСУ-Э) або значній частині регіону (МСУ-СК). На такому знімку розрізняються с/г угіддя, що дозволяє ідентифікувати посіви з достатньою точністю й оцінювати їх стан на конкретному полі [5]. За допомогою метеорологічних супутників NOAA, що мають на своєму борту радіометр AVHRR, можна отримувати багатоспектральні знімки земної поверхні до 10–12 разів на добу з просторовою розрізненістю 1,1x1,1 км. При цьому наведена до масштабу зйомки площа пікселя на багатоспектральному зображенні відповідає ділянці близько 120 га, що порівняти із середніми розмірами с/г поля у степовій зоні України. В лісостеповій зоні він становить 86 га [5]. Майже в усіх випадках яскравісні характеристики пікселя на зображенні сканера при зйомках лісостепової зони можуть належати до різних класів об’єктів на місцевості, що зумовлює ймовірність розпізнавання видів посівів на знімку і визначення посівних площ під досліджуваною культурою із задовільною точністю [5].

Знімальна система MODIS, встановлена на борту супутників Terra і Aqua, значною мірою задовольняє перераховані вимоги, що й зумовило її вибір в якості основного джерела ДДЗ для с/г моніторингу. Дані знімальної системи MODIS поділяються на космічні знімки низької (300–1 000 м) і середньої розрізненості (50–200м). Основним призначенням є їх визначення і дрібномасштабне картографування біопродуктивності лісових масивів і сільськогосподарських угідь, моніторинг динаміки льодовиків, процесів заболочування і запустинювання, засолення, повеней, паводків тощо [6].

Таблиця 1. Основні характеристики радіометра MODIS [7]

Номери каналів	Спектральний діапазон (мкм)	Просторова розрізненість (м)	Смуга огляду (км.)	Повторюваність зйомки однієї території (для одного супутника)
1-2	0.62 - 0.88	250	2300	1-2 рази на добу, залежно від широти місця зйомки
3-7	0.46 - 2.16	500	2300	
8-19	0.41 - 0.97	1000	2300	
20-25	3.66 - 4.55	1000	2300	
26	1.36 - 1.39	1000	2300	
27-36	6.54 - 14.39	1000	2300	

На сьогодні доступними є як поточні, так і архівні дані зйомки (для Terra – з 2000 р., для Aqua – з 2002 р.). Однак при розробленні алгоритмів моніторингу було вирішено використовувати тільки дані Terra – MODIS, оскільки для цієї знімальної системи доступний ряд вимірів за триваліший період часу, а використання даних із

двох знімальних систем істотно збільшує обсяг оброблюваних даних і створює

№	Призначення	Діапазон, нм
1	Контури хмар і земних об'єктів	620 – 670
2		841 – 876
3	Властивості хмар і об'єктів суходолу	459 – 479
4		545 – 565
5		1 230 – 1 250
6		1 628 – 1 652
7		2 105 – 2 155
8	Колір океану, фітопланктон, біогеохімія океану	405 – 420
9		438 – 448
10		483 – 493
11		526 – 536
12		546 – 556
13		662 – 672
14		673 – 683
15		743 – 753
16		862 – 877
17	Водяна пара	890 – 920
18		931 – 941
19		915 – 965
20	Температура хмар і поверхні Землі	3 660 – 3 840
21		3 929 – 3 989
22		3 929 – 3 989
23		4 020 – 4 080
24	Температура повітря	4 433 – 4 498
25		4 482 – 4 549
26	Пір'ясті хмари, водяна пара	1 360 – 1 390
27		6 535 – 6 895
28		7 175 – 7 475
29	Властивості хмар	8 400 – 8 700
30	Озоновий шар	9 580 – 9 880
31	Температура хмар і поверхні Землі	11 770 – 12 270
32		10 780 – 11 280
33	Висота верхньої границі хмар	13 185 – 13 485
34		13 485 – 13 785
35		13 785 – 14 085
36		14 085 – 14 385

необхідність проводити взаємне калібрування двох рядів вимірів. Основні характеристики радіометра MODIS наведено в таблиці 1.

Таблиця 2. Знімальні канали MODIS

Супутник Тетра перебуває на круговій квазіполярній сонячно-синхронній (перетинає екватор в 10:30 місцевого часу) орбіті висотою 705 кілометрів. Знімальна система MODIS виконує зйомку в 36 спектральних каналах видимого та інфрачервоного діапазону довжин хвиль із просторовою розрізненістю 250 м (у каналах 1–2), 500 м (у каналах 3–7) і 1 км (у каналах 8-36). Ширина смуги огляду становить

2330 км. Така смуга огляду дозволяє отримувати дані в екваторіальній області (широта менше 30°) з періодичністю 2 дні, а на широті території України із частотою не менше одного спостереження на добу. Канали зйомки MODIS та їх призначення наведено в табл. 2.

Дані MODIS широко використовуються в різних задачах спостереження Землі [4, 8]. Крім високої якості даних, значну роль відіграє і їх вільне поширення. Дані вимірювань можуть бути отримані на приймальну станцію або доставлені за допомогою Інтернет-технологій з одного із центрів приймання й поширення даних (DAAC), що підтримуються Геологічною службою США. Система DAAC забезпечує можливість отримання великого набору ДДЗ із різноманітних американських супутників. Крім системи DAAC, джерелом і головним інтерфейсом, через який можна отримувати дані вимірювань MODIS, може бути архів даних MODIS NASA –MODIS Rapid Response, де всі космічні знімки, які з'являються на сайті, хоча є державною власністю, але можуть вільно використовуватися й відтворюватися для будь-якої мети [9].

Дані MODIS у центрах приймання доступні з невеликою затримкою (кілька днів) після проведення супутникової зйомки. У центрах приймання дані проходять кілька рівнів попередньої обробки й стають зручнішими для подальшого використання.

Таким чином, якщо не потрібна оперативність на рівні кількох днів, то користувачеві зручніше отримувати дані через DAAC, що не потребує наявності власної приймальної станції. Також у DAAC доступні довгочасні архіви даних супутникової зйомки [10].

Таблиця 3 Стандартні продукти супутникових даних MODIS

Назва	Опис
<b>Surface Reflectance Відбивна здатність</b>	
MOD09A1	Surface Reflectance 8-day L3 Global 500m
MOD09GHK	Surface Reflectance Daily L2G Global 500m
MOD09GQK	Surface Reflectance Daily L2G Global 250m
MOD09GST	Surface Reflectance Quality Daily L2G Global 1km
MYD09Q1	Surface Reflectance 8-day L3 Global 250m
<b>Land Surface Temperature and Emissivity Температура поверхні Землі й вихідне випромінювання</b>	
MOD11 L2	Land Surface Temperature/Emissivity 5-min L2 Swath 1km
MOD11A1	Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km
MOD11A2	Land Surface Temperature/Emissivity 8-day L3 Global 1km
MOD11B1	Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 5km
MOD11C1	Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 0.05Deg CMG
MOD11C2	Land Surface Temperature/Emissivity 8-day L3 Global 0.05Deg CMG
MOD11C3	Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG
<b>Land Cover/Change Типи земного покриття/Зміна типів земного покриття</b>	
MOD12Q1	Land Cover Type 96-day L3 Global 1km
MOD12Q2	Land Cover Dynamics Yearly L3 Global 1km
<b>Vegetation Indices Вегетаційні індекси</b>	
MOD13A1	Vegetation Indices 16-day L3 Global 500m
MOD13A2	Vegetation Indices 16-day L3 Global 1km
MOD13A3	Vegetation Indices Monthly L3 Global 1km
MOD13Q1	Vegetation Indices 16-day L3 Global 250m

<b>Thermal Anomalies/Fire Температурні аномалії/Пожежі</b>	
<b>MOD14</b>	<b>Thermal Anomalies/Fire 5-min L2 Swath 1km</b>
<b>MOD14A1</b>	<b>Thermal Anomalies/Fire Daily L3 Global 1km</b>
<b>MOD14A2</b>	<b>Thermal Anomalies/Fire 8-day L3 Global 1km</b>
<b>Leaf Area Index/Fraction of Photosynthetically Active Radiation (LAI/FPAR) Індекс листової поверхні/ Частка фотосинтетично активної радіації</b>	
<b>MOD15A2</b>	<b>Leaf Area Index/FPAR 8-day L4 Global 1km</b>
<b>Net Primary Vegetation Production Чиста продуктивність рослинності</b>	
<b>MOD17A2</b>	<b>Net Photosynthesis 8-day L4 Global 1km</b>
<b>MOD17A3</b>	<b>Net Primary Production Yearly L4 Global 1km</b>
<b>MOD17CM</b>	<b>Net Photosynthesis 32-day L4 Global 0.05Deg CMG</b>
<b>MOD17CY</b>	<b>Net Primary Production Yearly L4 Global 0.05Deg CMG</b>
<b>Bidirectional Reflectance Distribution Function / Albedo Індикатриса відбиття / Альbedo</b>	
<b>MOD43B1</b>	<b>BRDF/Albedo Model-1 16-day L3 Global 1km</b>
<b>MOD43B3</b>	<b>Albedo 16-day L3 Global 1km</b>
<b>MOD43B4</b>	<b>Nadir Brdf-adjusted Reflectance 16-day L3 Global 1km</b>
<b>MOD43C1</b>	<b>Albedo 16-day L3 Global 0.25/0.05Deg CMG</b>
<b>MOD43C2</b>	<b>BRDF/Albedo Parameters 16-day L3 Global 0.25/0.05Deg CMG</b>
<b>MOD43C3</b>	<b>Nadir Brdf-adjusted Reflectance 16-day L3 Global 0.05Deg CMG</b>
<b>Vegetation Conversion / Continuous Fields Зміна типів рослинності</b>	
<b>MOD44A</b>	<b>Vegetation Cover Conversion 32-day L3 Global 250m (за даними Terra)</b>
<b>Geolocation Angles Кути Сонця й сенсора</b>	
<b>MODMGGAD</b>	<b>Geolocation Angles Daily L2G Global 1km Day</b>
<b>Pointer Files Службова інформація про зйомку</b>	
<b>MODPT1KD</b>	<b>Observation Pointers Daily L2G Global 1km Day</b>
<b>MODPTHKM</b>	<b>Observation Pointers Daily L2G Global 500m</b>
<b>MODPTQKM</b>	<b>Observation Pointers Daily L2G Global 250m</b>

Після надходження даних ДЗЗ до DAAC вони проходять кілька рівнів обробки. Результатом обробки є набір стандартних похідних продуктів супутникових даних з поліпшеними властивостями. Цей набір продуктів користувач може використати для вирішення конкретних завдань моніторингу. Список поширюваних продуктів наведено у табл. 3.

Найбільш «сира» інформація представлена в продуктах MOD09GQK, MOD09GHK, MOD09GST. Ці продукти містять у собі дані всіх добових спостережень. Користувач може також отримати краще опрацьовану інформацію, наприклад, композитні безхмарні зображення (MOD09Q1, MOD09A1).

Можна також отримати дані вегетаційних індексів (MOD13A1, MOD13A2, MOD13A3, MOD13Q1) та інші тематичні продукти (температуру поверхні Землі, типи земного покриву, температурні аномалії, індекс листової поверхні тощо). Таким чином, користувач може обрати потрібний продукт у відповідності з його вимогами. Проте варто врахувати, що в міру того, що для всієї території Землі застосовуються однакові



алгоритми обробки, результати для певного регіону можуть бути недостатньо високої якості. Стандартні композитні зображення (MOD09Q1, MOD09A1) містять значне число пікселів, закритих хмарами або сніговим покривом, що ускладнює їхнє використання для тематичного моніторингу рослинності.

У багатьох випадках поглиблена попередня обробка супутникових даних, з одного боку, полегшує їх використання для багатьох тематичних додатків, з іншого – може істотно знижувати ефективність або навіть виключати саму можливість застосування деяких спеціалізованих алгоритмів. Тому користувач повинен вибирати між більш «сирими» і, отже, менш спотвореними даними, які йому доведеться доопрацьовувати власноруч, і готовими продуктами більш глибокого рівня попередньої обробки, якість яких у ряді випадків може бути посередньою.

Усі поширювані продукти можуть бути замовлені за допомогою універсального Web-інтерфейсу [10]. Користувач може обрати, яким чином дані будуть йому надходити: за допомогою Інтернет, на касетах DLT або експрес-поштою.

Альтернативним джерелом отримання даних може виступити Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП), який володіє архівом даних ДЗЗ з космічних апаратів (КА) “NOAA”, “Meteosat”, “Океан-О”, “Метеор-ЗМ” тощо, обсягом понад 300 ГГб.

Персонал Центру обчислює вегетаційний індекс та оцінює динаміку розвитку рослинності на території України за період року. Ці дослідження спрямовуються на визначення врожайності с/г культур – за індексами NDVI, NDSI, NDMI. Однак такі дослідження носять поодинокий, тестовий характер, оскільки за даними [11] не підготовлено жодної тематичної карти за будь-яким з індексів [12].

Камера MODIS одночасно захоплює дуже велику смугу зйомки, приблизно 2340 x 2330 км (розмір гранули). Для зручності поширення дані розбиваються на фрагменти, приблизно 1120 x 1120 км (10 x 10 градусів на екваторі) у рівноплщинній синусоїдальній проекції [4]. Після розбивки утворюється 460 фрагментів, 326 з яких захоплюють земну поверхню. Нумерація фрагментів починається з 0,0 (номер фрагмента по горизонталі, номер фрагмента по вертикалі) у верхньому лівому куті і збільшується зліва направо (за горизонталлю) і зверху вниз (за вертикаллю) (рис. 2). Останній фрагмент має номер 35, 17 і розташовується у нижньому правому куті.

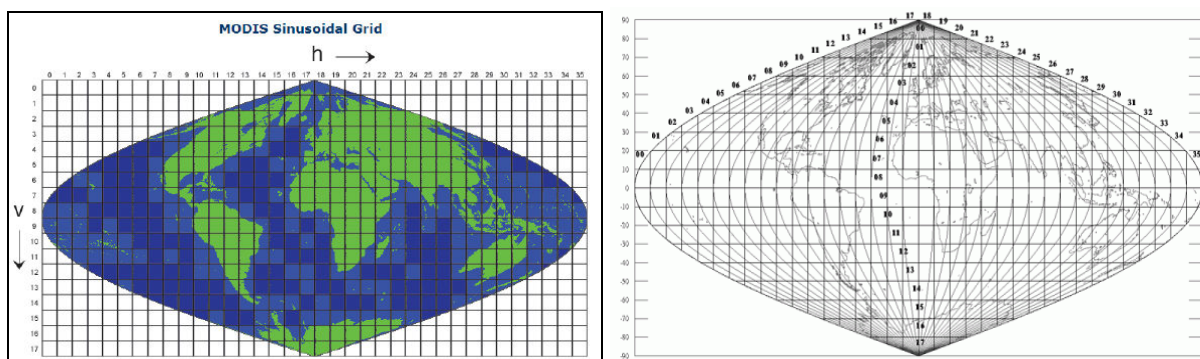


Рисунок 2. Покриття гранулами (tile) даних MODIS території Землі



Таблиця 4

Зміст продуктів даних MOD09GQK, MOD09GHK, MODMGGAD, MOD09GST

Назва	Назва інформаційних шарів	Опис інформаційних шарів	Розрізненість, м	
MOD09GQK	250m Surface Reflectance Band 1 (620-670 nm)	Виміри в каналі 620-670 нм	250	
	250m Surface Reflectance Band 2 (841-876 nm)	Виміри в каналі 841-876 нм		
	250m Reflectance Band Quality	Інформація про якість даних		
	Orbit and coverage	Інформація про формат даних		
	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу		
	500m Surface Reflectance Band 1 (620-670 nm)	Виміри в каналі 620-670 нм		
	MOD09GHK	500m Surface Reflectance Band 2 (841-876 nm)	Виміри в каналі 841-876 нм	500
		500m Surface Reflectance Band 3 (459-479 nm)	Виміри в каналі 459-479 нм	
		500m Surface Reflectance Band 4 (545-565 nm)	Виміри в каналі 545-565 нм	
		500m Surface Reflectance Band 5 (1230-1250 nm)	Виміри в каналі 1230-1250 нм	
500m Surface Reflectance Band 6 (1628-1652 nm)		Виміри в каналі 1628-1652 нм		
500m Surface Reflectance Band 7 (2105-2155 nm)		Виміри в каналі 2105-2155 нм		
500m Reflectance Band Quality		Інформація про якість даних		
Orbit and coverage		Інформація про формат даних		
MODMGGAD	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу	1 000	
	Solar Azimuth	Азимутальний кут Сонця		
	Solar Zenith	Зенітний кут Сонця		
	Sensor Azimuth	Азимутальний кут приладу		
	Sensor Zenith	Зенітний кут приладу		
	Range (ground-sensor)	Відстані від приладу до точки спостереження		
	Geolocation Flags	Службова інформація		
	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу		
	MOD09GST	1km Reflectance Data State QA	Інформація про якість даних	1 000
		Orbit and coverage	Інформація про формат даних	
Number of Observations		Кількість вимірів, зроблених за добу		

Мінімальною одиницею замовлення є файл, що містить дані, які покривають одну гранулу земної поверхні. Географічна прив'язка здійснюється з точністю близько 150 м при спостереженні в надир та похибці сполучення даних зйомки у різних каналах, яка не перевищує 100 м (для каналів 1–7) [5]. Ці параметри є достатніми для більшості практичних додатків. Підпиксельна точність географічної прив'язки дозволяє використовувати зазначені дані для аналізу часових рядів супутникових вимірів на рівні окремих пікселів. Файли із супутниковими продуктами записані у спеціальному форматі HDF-EOS, який може бути прочитаний за допомогою спеціальної бібліотеки [10]. Для проведення с/г моніторингу можна обрати чотири продукти супутникових даних: MOD09GQK, MOD09GHK, MODMGGAD, MOD09GST (табл.4). Вибір цих продуктів зумовлений тим, що вони містять «сирі» дані вимірів, а це забезпечує максимальний рівень гнучкості при створенні спеціалізованих і регіонально адаптованих алгоритмів попередньої та тематичної обробки. Затримка в кілька діб при отриманні даних з DAAC не є критичною.

Для моніторингу рослинності найпридатнішими є дані зйомки у червоній і ближній ІЧ зонах спектра. Одночасно треба зазначити, що виконаний аналіз стандартного продукту MOD09Q1 (композитні зображення з періодом вісім діб з інформацією про зйомку в 1–2 каналах) свідчить, що він не забезпечує необхідної якості фільтрації впливу хмарності, а також містить відносно високий рівень зашумлених пікселів. Вищенаведене визначило вибір в якості вихідних даних продукт MOD09GQK, який містить щодобову інформацію про зйомку в 1–2 каналах із просторовою розрізненістю 250 м. У міру необхідності розроблення алгоритмів детектування хмарності було обрано продукт MOD09GHK, який містить дані спостережень у каналах блакитного (459-479 нм) і середнього інфрачервоного (1 628–1 652 нм) діапазону спектра, які ефективно використовуються для детектування хмар і снігового покриву. Продукт MODMGGAD містить інформацію про геометричні умови спостереження: азимутальний й Zenітний кути, місця розташування супутника й Сонця в момент зйомки. Усі три перераховані вище продукти містять інформацію про усі виконані виміри за одну добу.

Кількість вимірів для різних точок при цьому може різнитись залежно від їхньої віддаленості від екватора. Таким чином, зазначені вище продукти являють собою не знімки в традиційному розумінні, а набір вимірів для кожного пікселя, зроблених за одну добу. Продукт MOD09GST містить службову інформацію, необхідну для коректного зчитування продуктів MOD09GQK, MOD09GHK, MODMGGAD. Складові дані наведено в таблиці 4.

Архів зазначених чотирьох продуктів за визначений період може бути замовлений в USGS EROS DAAC [10].

На сьогодні в архіві доступні дані на більшу частину території України, а саме гранули h19v03, h19v04, h20v03, h20v04. Картограма наповнення архіву представлена на рис. 3.

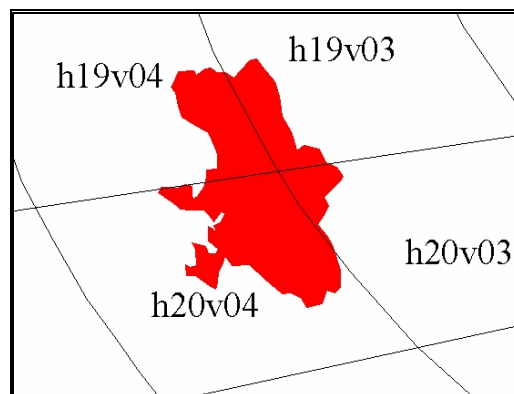


Рисунок 3. Наявність архівних даних MODIS

**Висновки.** Для моніторингу агроресурсів, на думку авторів, найприйнятнішою є знімальна система MODIS, що встановлена на борту супутників Terra і Aqua і дозволяє отримувати багатоспектральні знімки земної поверхні до 10–12 разів на добу з просторовою розрізненістю 1,1x1,1 км. Така розрізненість повністю задовольняє висунуті вимоги щодо моніторингу агроресурсів.

Для роботи з даними системи MODIS може бути використана методика [10] і [13]. Застосування даних методик дозволяє зберігати понад 12 Тб вихідних даних. Дані зберігаються на касетах DLT і на жорстких дисках. Цим забезпечується прийнятна вартість носіїв інформації й швидкість отримання даних з архіву. Система збереження також здійснюватиме архівацію й каталогізацію продуктів, отримуваних після попередньої обробки супутникових даних.

Для контролю якості та візуальної оцінки отримуваних результатів с/г моніторингу за даними MODIS у ряді випадків варто використовувати вибіркові багатозональні зображення Landsat-TM/ETM+, оскільки відносно висока просторова розрізненість зазначених супутникових зображень (30 м) дозволяє впевнено розпізнавати с/г поля при проведенні візуальної інтерпретації. Зображення високої розрізненості можуть бути отримані на сайті програми GLCF Університету Меріленд [14]. Для цих даних також може бути створена система збереження та каталогізації, Web-інтерфейс доступу до даних.

#### **Література**

1. Сільське господарство України: Статистичний збірник 2008; за ред. Ю.М. Остапчука. – Київ: Державний комітет статистики України, 2009. – 370 с.
2. Бурачек, В.Г. Основи ГІС [Текст] / В.Г. Бурачек, В.І. Зацерковний. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2009. – 180 с.
3. Зацерковний, В.І. Застосування геоінформаційних технологій в моніторингу орних земель [Текст] / В.І. Зацерковний, С.В. Кривоберець // «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід»: VI міжнародна науково-практична конференція. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2010. – Випуск 6. – С. 189–196.
4. Friedl M.A., McIver D.K., Hodges J.C.F. et al. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results // Remote Sensing of Environment, 2002. – № 83. – P. 287–302.
5. Зацерковний, В.І. Аналіз способів отримання геопросторової інформації при багатозональній та гіперспектральній зйомці [Текст] / В.І. Зацерковний, В.Ю. Беленок, М.Г. Левченко // «Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід»: VI міжнародна науково-практична конференція. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2010. – Випуск 6. – С. 219–231.
6. Бесплатные космические снимки – Снимки Земли [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=22&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=22&table=news).
7. Данные – MODIS – Описание съемочной аппаратуры [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.scanex.ru/ru/data/default.asp?submenu=modis&id=idescription>.
8. Xiong X., Chiang K., Esposito J. et al. MODIS on-orbit calibration and characterization // Metrologia. № 40, 2003. – P. 89–92.
9. Архів даних MODIS NASA – MODIS Rapid Response [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime/2011061/>
10. Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности [Текст]; под ред. Е.А. Лупяна, О.Ю. Лавровой / Сб. науч. статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – М.: «Азбука-2000», 2006. – Т. 1. – С. 170–174.
11. Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП). Офіційний сайт – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.dzz.gov.ua/CPOSI/style/page\\_2/templer\\_page2\\_ua.php?id=5&table=text\\_monitoring&papka=ndvi&tabl=archive\\_NDVI](http://www.dzz.gov.ua/CPOSI/style/page_2/templer_page2_ua.php?id=5&table=text_monitoring&papka=ndvi&tabl=archive_NDVI)
12. Можливості центру прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля щодо надання інформації дистанційного зондування Землі та співпраця у вирішенні проблем Донеччини / О.М. Глущенко, О.О. Ремпель, В.М. Стасюк, С.Д. Скубко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=888>
13. Кривоберець, С. В. Методи і алгоритми багатокористувацької обробки розподіленої просторової інформації на основі технологій геопорталів [Текст] / С.В. Кривоберець, Ю.С. Сімакін // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2010. – С. 213–221.
14. Програма GLCF Університету Меріленд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>.

*Отримано 12.01.2011*