УДК: 681.518.3:528.88:004.6

С. В. Кривоберець, викладач
Чернігівський державний інститут економіки і управління, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ ВЕДЕННЯ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Розглянуто методи і супутникові системи, що дозволяють практичне використання даних дистанційного зондування (ДДЗ) для ведення агроекологічного моніторингу, прогнозування врожайності та аналізу стану рослинності. Відображені переваги знімальних систем MODIS і Landsat TM для потреб агроекологічного моніторингу, описані характеристики та знімальні канали радіометра MODIS і сенсора ETM+. Проаналізовані індикатори – показники стану рослинності, що розраховуються в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) – вегетаційні індекси, які найчастіше використовуються для дослідження рослинного покриву. Представлені комбінації каналів даних Landsat TM, зазначені галузі застосування даних MODIS і Landsat TM.

Постановка проблеми. 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 й відтворення родючості. Державні заходи щодо охорони земель практично припинені.

Серед існуючих сучасних методів агроекологічного моніторингу найбільш ефективними є методи, що засновані на використанні геоінформаційних систем (ГІС) для складання просторово-орієнтованих електронних карт полів; карт врожайності культур, одержувані відразу після прибирання; дистанційні методи зондування, такі як аерофото- і супутникові знімання [3].

У зв'язку із стрімким розвитком авіаційної, й особливо космічної техніки, технології ДЗ природного середовища набувають не лише наукової, але й істотної прикладної значущості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методологія космічних досліджень і методи застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для моніторингу великою мірою розвинулись завдяки працям відомих вітчизняних учених – В. Кононова, Г. Коротаєва, В. Ляльки, 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 приведені в працях С. Довгого, В. Ляльки, В. Шестопалова, М. Якимчука та інших учених.

Дослідження пов'язані із застосуванням знімків високої і середньої розрізненості для вирішення різноманітних завдань у галузі картографування земних ресурсів та стану навколишнього середовища, екологічного моніторингу агроресурсів ведуться вже протягом двох десятиліть. Значний внесок у розвиток напряму аналізу даних ДЗЗ внесли як закордонні, так і вітчизняні вчені – В.В. Асмус, Р. Вудс, Р. Гонсалес, В.К. Злобін, Є.О. Луп'ян, В.І. Кравчук [8], У. Претт, В.А. Сойфер, А.Г. Орлов, А.М. Овчинников, M. W. Matthew, S. M. Adler-Golden, A. Berk, G. Felde, G. P. Anderson, D. Gorodetzky, S. Paswaters, M. Shippert, A. Huete [10], M. A. Friedl, X. X. Xiong та інші. Їх дослідження щодо питання з дистанційного спостереження за Землею й обробки відеоінформації становлять теоретичну основу з вирішення поставлених завдань.

Постановка завдання. Під час спостереження за Землею з космосу, використовуючи дистанційні методи, дослідник має можливість на відстані (дистанційно) отримувати інформацію про об'єкт, що вивчається. Дистанційні методи, переважно, є непрямими, тобто вимірюються не параметри об'єктів, що цікавлять, а деякі пов'язані з ними величини. В порівнянні з контактними методами, заснованими на реєстрації характеристик досліджуваного об'єкта з використанням датчиків, що знаходяться в безпосередньому стиканні з об'єктом (термометр, термопара, газоаналізатор тощо). За допомогою дистанційних методів можна говорити про властивості спостережуваних об'єктів за непря-

мими ознаками шляхом реєстрації випромінених об'єктом або відбитих від нього електромагнітних хвиль у різних діапазонах спектра.

У випадку оцінювання стану сільськогосподарських посівів, як одного з ключових аспектів проведення агроекологічного моніторингу, апаратура супутника реєструє лише інтенсивність світлового потоку від цих об'єктів у декількох ділянках оптичного діапазону. Дані ДЗЗ використовують для оперативного оцінювання стану посівів сільськогосподарських культур на великих площах.

На практиці це здійснюється методом супутникової зйомки з подальшим аналізуванням знімків. Для того щоб «розшифрувати» такі дані, з метою отримання незалежної та своєчасної інформації про посівні площі основних сільськогосподарських культур, їх стан, біопродуктивність та прогнози врожайності з використанням інформації ДЗЗ, потрібні попередні дослідження, що включають різні підсупутникові експерименти: з вивчення стану рослин контактними методами; з вивчення відбивної здатності листя в різних ділянках спектра і при різному взаємному розташуванні джерела світла (Сонця), листя і вимірювального приладу. Далі необхідно визначити, як виглядають ті ж об'єкти з літака і лише після цього аналізувати про стан посівів за супутниковими даними. Неодмінним атрибутом дослідження є ступінь калібрування супутникової апаратури перед запуском і в космосі, і можливість порівнювати супутникові дані з наземними.

Незважаючи на трудомісткість підсупутникових досліджень під час проведення на невеликій площі, в той же час вони дають можливість інтерпретувати дані, що відносяться до величезних просторів і навіть до всієї земної кулі. Широта обхвату є характерною межею супутникових методів дослідження Землі. До того ж ці методи, переважно, дозволяють отримати результат за порівняно короткий проміжок часу.

Для здійснення ефективного агроекологічного моніторингу с.-г. земель за допомогою ДДЗ необхідно обрати оптимальну знімальну систему з існуючих на сьогодні та розробити алгоритми обробки даних, на вибір яких впливає низка факторів (необхідність використання даних знімань у зонах спектра в 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).

З допомогою цих факторів можна висувати певні вимоги до знімальної системи та алгоритмів обробки ДДЗ, які повинні забезпечувати наявність знімальних каналів у червоній і ближній інфрачервоній (ІЧ) зонах спектра, просторову розрізненість знімання не гірше 250-300 м, періодичність знімань не рідше ніж один безхмарний вимір за 5-10 днів, незалежність алгоритмів обробки від спектральних властивостей підстилаючого ґрунтового покриву, універсальність алгоритмів обробки стосовно різних кліматичних умов, методів агротехніки, мінімальну участь експертів у процесі обробки даних [3].

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасна 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.

Система агроекологічного моніторингу за допомогою ДДЗ повинна [4]:

– функціонувати в режимі реального часу, забезпечуючи високу оперативність обробки великих (або надвеликих) потоків даних;

– забезпечувати високі вимоги щодо достовірності і точності результатів аналізу, до форми й якості подання кінцевих результатів, що викликані високою вартістю можливих помилок;

– надавати можливість використання всього розмаїття вимірювальної інформації – за фізичною природою, за видом подання, за великою кількістю програмно-апаратних засобів, що виступають джерелами даних тощо;

– вирішувати широке коло завдань (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 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 значними 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, враження шкідниками та хворобами, нестача поживних речовин, загибель від несприятливих метеорологічних умов), а також прогнозувати врожайність.

ДЗЗ відносяться до потужних методів отримання інформації про стан рослинності конкретного поля, які за допомогою інформативних можливостей спектральних характеристик полів створюють передумови для ефективного управління посівами. За допомогою даних ДЗЗ виявляються та локалізуються ділянки поля з аномальним розвитком рослинності, встановлюються можливі причини його виникнення. На більш високому рівні аналіз цих даних дає можливість встановлювати кількісні зв’язки між біофізичними параметрами стану рослинності і змінами спектрального відгуку рослинного покриву, що обумовлені впливом факторів зовнішнього середовища або особливостями технологій вирощування, тобто отримані знімки опрацьовують і отримують показники стану рослинності, так звані вегетаційні індекси (BI): NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізовано-різницевий вегетаційний індекс, DMP – індекс наростання сухої речовини тощо, які є вихідними результатами комп’ютерної обробки супутникових знімків і характеризують загальний стан розвитку рослинності та в поєднанні з агрометеорологічними факторами дозволяють прогнозувати врожайність сільськогосподарських культур з високою точністю. Вони потім порівнюються з агрометеорологічними показниками та використовуються у вигляді вхідної інформації для процесу моделювання стану сільськогосподарських культур та прогнозування їх врожайності.

Після попереднього опрацювання, за допомогою математичних операцій з різними каналами ДЗЗ, проводиться визначення різних індикаторів, що характеризують температуру поверхні ґрунту, випромінювання довгохвильової радіації земною поверхнею, тривалість сонячного сяяння, наявність снігового чи хмарного покриву; площу, вкриту рослинністю, тощо. Із супутникових індикаторів найчастіше використовуються вегетаційні індекси: NDVI (похідні індекси SAVI, PVI), fAPAR та DMP [10].

NDVI – простий кількісний показник фотосинтетично активної біомаси. NDVI легко обчислюється, має найширший динамічний діапазон із розповсюджених вегетаційних індексів і порівняно кращу чутливість до змін у рослинному покриві. Він помірно чутливий до змін ґрунтового й атмосферного фону, крім випадків з розрідженою рослинністю (наприклад, NDVI не варто застосовувати, якщо рослинний покрив становить менше 30 % площі території аналізу).

Розрахунок NDVI базується на двох найстабільніших (незалежних від інших факторів) ділянках спектральної кривої відбиття судинних рослин. У червоній ділянці спектра (0,6-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній ділянці (0,7-1,0 мкм) – максимальне відбиття клітинних структур листка.

Тобто, висока фотосинтетична активність (пов'язана, переважно, з густою рослинністю) призводить до меншого відбиття в червоній ділянці спектра і більшого – в інфрачервоній. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів.

Використання ж не простого відношення, а нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиття збільшує точність виміру та дозволяє зменшити вплив таких явищ, як розходження в освітленості знімка, хмарності, димки, поглинання радіації атмосферою тощо. NDVI обчислюється за такою формулою [10]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

де RED та NIR – значення відповідних пікселей на зображеннях, отриманих у видимій (червоній) та ближній інфрачервоній ділянках спектра.

Відповідно до цієї формули, щільність рослинності (NDVI) у певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному та інфрачервоному діапазонах, поділеній на їх суму.

Індекс NDVI може бути розрахованим на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької розрізненості, що мають спектральні канали в червоному (0,55-0,75 мкм) й інфрачервоному (0,75-1,0 мкм**)** діапазонах. Алгоритм розрахунку NDVI міститься практично у всіх поширених пакетах програмного забезпечення, пов'язаних з опрацюванням ДДЗ (Arc View Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, Ermapper, Scanex MODIS Processor, ScanView тощо).

У випадках з розрідженою рослинністю замість NDVI використовують ґрунтово-вегетаційний індекс (SAVI) або перпендикулярний BI (PVI), поріг чутливості яких до густоти рослинності становить близько 15 %.

Індикатор fAPAR – частина фотосинтетично активної сонячної радіації (визначає частину сумарної сонячної радіації PAR (400-700 нм), поглинутої рослинами в процесі фотосинтезу, і виражає здатність поглинання енергії рослинним покривом.

Показник DMP є індексом маси накопичення сухої речовини (кгСР/га/день). Він обчислюється за такою формулою:

$$DMP = R\ 0{,}48\ fAPAR\ \varepsilon(T)\ 10000,$$

де R – короткохвильове випромінювання Сонця (200-3000 нм), яке становить близько 48 % від PAR (фотосинтетично активна радіація: 400-700 нм); ε(T) – продуктивний термін [кгСР/Дж$_{PAR}$] виражає перетворення цієї поглинутої енергії в біомасу (ефективність використання випромінювання). E(T) є нелінійною дзвіноподібною функцією від денної температури T; вона сягає максимуму за температури 22 °C і наближається до нуля за температури нижче 0 °C або вище за 40 °C. Множник 10 000 [м²/га] перетворює квадратні метри на гектари, що є більш вживаною одиницею в агростатистиці [8].

Вся отримана інформація інтерполюється на сітку розміру 25 км × 25 км та компонується у мозаїчні регіональні карти.

ДДЗ характеризують критерії загального впливу умов навколишнього середовища на рослинність, не уточнюючи, яка саме частина кліматичних умов насправді впливає на рослинність. Цей процес називається «дедуктивним» і часто розглядається в основі моделей прогнозування зернових як достатній, для того щоб зробити висновки щодо поточної поведінки зернових та пояснити остаточні прогнози з найменшою неточністю.

Такий аналіз дає можливість побудувати математичні моделі посівів і на їх основі прогнозувати розвиток рослин, що, у свою чергу, дозволить застосовувати їх у системах підтримки рішень агроспеціалістів [3].

Одним із важливих методичних питань дистанційного зондування (ДЗ) є точність ідентифікації досліджуваних посівів на супутниковому зображенні і збіжності результатів відновлення спектральних відбивних характеристик об'єктів знімання 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 врожайності за даними багатоспектрального супутникового знімання. Складові моніторингу земель с.-г. призначення представлені на рис.1.

Рис. 1. Складові космічного агроекологічного моніторингу

Дані ДЗЗ характеризуються надійністю, оперативністю їх отримання й масштабністю (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 багатоспектрального супутникового знімання для моніторингу посівів с.-г. культур, а саме: визначення структури посівних площ, параметрів рослинного покриву, стану польових культур та інших інформативних ознак [4].

Природоресурсні супутники типу «Ресурс» можуть виконувати знімання 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 відповідає за площею 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 [4]. 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 1,1×1,1 км. При цьому приведена до масштабу знімання площа пікселя на багатоспектральному зображенні відповідає

ділянці близько 120 га, що порівнянне із середніми розмірами с.-г. поля у степовій зоні України. В лісостеповій зоні він становить 86 га. Майже в усіх випадках яскравісні характеристики пікселя на зображенні сканера під час знімання лісостепової зони можуть належати до різних класів об'єктів на місцевості, що обумовлює ймовірність розпізнавання видів посівів на знімку і визначення посівних площ під досліджуваною культурою із задовільною точністю [4].

Знімальна система MODIS, що встановлена на борту супутників Terra і Aqua, значною мірою задовольняє перерахованим вимогам, що й обумовило її вибір як основного джерела ДДЗ для с.-г. моніторингу. Дані знімальної системи MODIS поділяються на космічні знімки низької (300-1000 м) і середньої розрізненості (50-200 м). Основним призначенням яких є визначення і дрібномасштабне картографування біопродуктивності лісових масивів та сільськогосподарських угідь, моніторинг динаміки льодовиків, процесів заболочування і запустинювання, засолення, повеней, паводків тощо [4]. На сьогодні доступними є як поточні, так і архівні дані знімань, однак під час розробки алгоритмів моніторингу було вирішено використовувати дані Terra-MODIS, оскільки для цієї знімальної системи доступний ряд вимірів за більш тривалий період часу, а використання даних з двох знімальних систем істотно збільшує обсяг оброблюваних даних і створює необхідність проводити взаємне калібрування двох рядів вимірів. Основні характеристики радіометра MODIS представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні характеристики радіометра MODIS [4]

Номери каналів	**Спектральний діапазон (мкм)**	**Просторова розрізненість (м)**	**Смуга огляду (км)**	**Повторюваність знімань однієї території (для одного супутника)**
1-2	0,62 – 0,88	250	2300	1-2 рази на добу, залежно від широти місця знімання
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	

Супутник Terra перебуває на круговій квазіполярній сонячно-синхронній (перетинає екватор в 10:30 місцевого часу) орбіті висотою 705 кілометрів. Знімальна система MODIS виконує знімання 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 2 330 км. Така смуга огляду дозволяє отримувати дані в екваторіальній області (широта менш 30°) з періодичністю 2 дні, а на широті території України із частотою не менш одного спостереження на добу. Канали знімання MODIS та їх призначення представлено в таблиці 2.

Дані MODIS широко використовуються в різних задачах спостереження за Землею [8]. Крім високої якості даних, значну роль відіграє й їх вільне поширення. Дані вимірів можуть бути отримані на прийомну станцію або доставлені за допомогою інтернет-технологій з одного із центрів прийому й поширення даних (DAAC), що підтримуються Геологічною службою США. Система DAAC забезпечує можливість отримання великого набору ДДЗ з різноманітних американських супутників. Крім системи DAAC, джерелом і головним інтерфейсом, через який можна отримувати дані вимірів MODIS, може бути архів даних MODIS NASA – MODIS Rapid Response, де всі космічні знімки, які з'являються на сайті, хоч і є державною власністю США, але можуть вільно використовуватись і відтворюватись для будь-якої мети [1].

Дані MODIS у центрах прийому доступні з невеликою затримкою (декілька днів) після проведення супутникового знімання. У центрах прийому дані проходять декілька рівнів попередньої обробки й стають більш зручними для подальшого використання.

У багатьох випадках поглиблена попередня обробка супутникових даних, з одного боку полегшує їх використання для багатьох тематичних додатків, з другого – 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.

Альтернативним джерелом отримання даних може виступити Центр прийому й обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля (ЦПОСІ та КНП), який має архів даних ДЗЗ з космічних апаратів (КА) «NOAA», «Meteosat», «Океан-О», «Метеор-3М» тощо обсягом понад 300 ГГб.

Персонал Центру обчислює вегетаційні індекси 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 не підготовлено жодної тематичної карти за будь-яким з індексів [7].

Для контролю якості та візуальної оцінки отримуваних результатів агроекологічного 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 під час проведення візуальної інтерпретації.

Зображення високої розрізненості можуть бути отримані на сайті програми GLCF Університету Меріленд [9]. Для цих даних також може бути створена система збереження та каталогізації, веб-інтерфейс доступу до даних.

Більшість супутників, що проводять знімання земної поверхні постачають дані не у вигляді кольорового зображення, а у вигляді декількох (інколи декількох десятків) монохромних зображень – по одному на кожний спектральний канал. Це значно збагачує можливості застосування супутникової інформації та методи обробки супутникових зображень.

У таблицях 2 та 3 наведено характеристики сенсорів супутника Landsat 7.

Таблиця 2

Сенсор ETM+

Назва	ETM+ (Enhanced Thematic Mapper)
Тип	Багатоспектральний оптико-механічний скануючий радіометр
Країна	США
Розробник	Raytheon (Hughes) Santa Barbara Remote Sensing
Носій	Landsat 7
Смуга захвату, км	183
Можливість стереоскопічного знімання	ні
Точність геодезичної прив'язки, м	250
Призначення	Багатоцільове знімання загального призначення всієї поверхні Землі
Джерела даних	Global Land Cover Facility USGS Global Visualization Viewer (Glovis) USGS Earth Explorer International Ground Stations

Таблиця 3

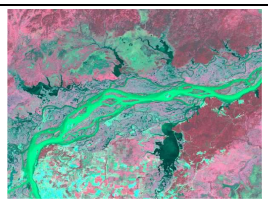
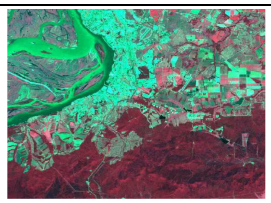
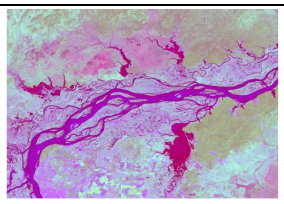
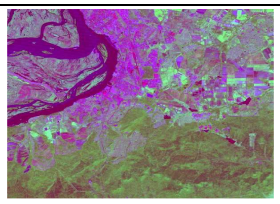
Розрізненість ETM+

Номер каналу	Розрізненість, м	Початок, нм	Кінець, нм
1	30	450	515
2	30	525	605
3	30	630	690
4	30	760	900
5	30	1550	1750
6	60	10400	12500
7	30	2080	2350
8	15	520	900

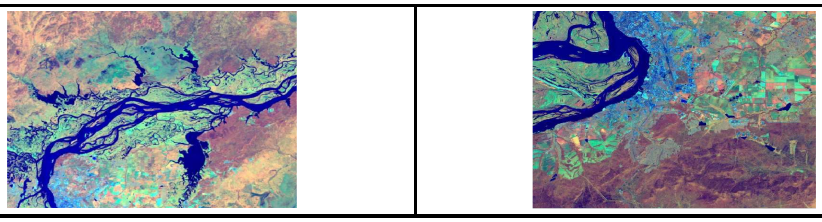
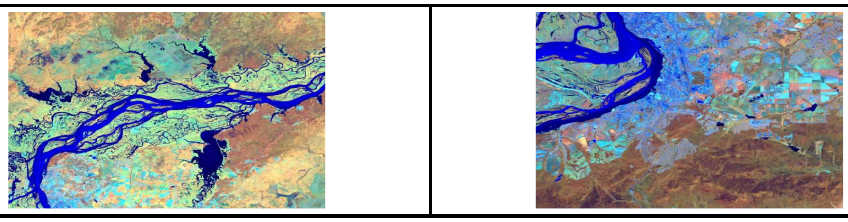
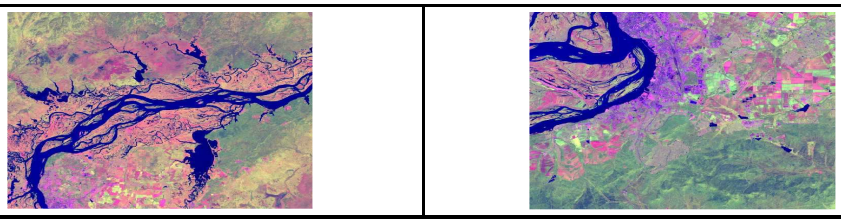
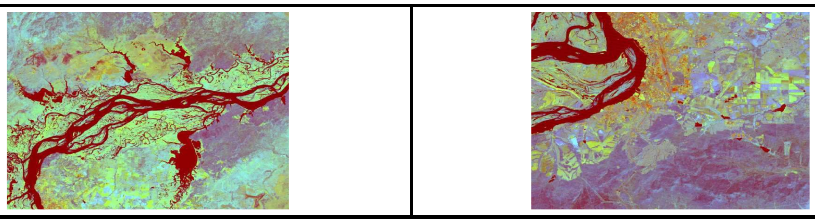
За допомогою характеристик розрізненості можна використовувати як окремі монохромні канали, так і комбінування їх будь-яким чином для отримання найбільш інформативної карти, не обов'язково у «природних» кольорах. У таблиці 4, взятої з [5] наведено інформацію про найбільш корисні комбінації каналів та їх призначення.

Таблиця 4

Інтерпретація комбінацій каналів даних Landsat TM / ETM+ [5]

Комбінація	Можлива інформація
1	**2**
4, 3, 2	Стандартна комбінація «штучні кольори». Рослинність відображається у відтінках червоного, міська забудова – зелено-блакитні, а колір ґрунту варіюється від темно- до світло-коричневого. Лід, сніг і хмари виглядають білими або світло-блакитними (по краях). Хвойні ліси будуть виглядати більш темно-червоними або навіть коричневими в порівнянні з листяними. Ця комбінація дуже популярна й використовується, переважно, для вивчення стану рослинного покриву, моніторингу дренажу й ґрунтової мозаїки, а також для вивчення агрокультур. У цілому, насичені відтінки червоного є індикаторами здорової й (або) широколистої рослинності, у той час як більш світлі відтінки характеризують трав'янисту або рідколісся/чагарникову рослинність
	Приклади (4, 3, 2)
	 
7, 4, 2	Ця комбінація дає зображення близьке до природних кольорів, але в той же час дозволяє аналізувати стан атмосфери й дим. Здорова рослинність виглядає яскраво-зеленою, рослинні співтовариства – зеленими, яскраво-рожеві ділянки детектують відкритий ґрунт, коричневі й жовтогарячі тони характерні для розрідженої рослинності. Сухостійна рослинність виглядає жовтогарячою, вода – блакитною. Пісок, ґрунт і мінерали можуть бути представлені більшим числом кольорів і відтінків. Може бути використана для вивчення сільськогосподарських земель і водно-болотних угідь. Міська забудова відображається у відтінках рожево-фіолетового, рослинні співтовариства – зеленими й світло-зеленими. Світло-зелені крапки всередині міських територій можуть бути парками, садами. Маслиново-зелений колір характерний для лісових масивів, а більш темний колір є індикатором домішок хвойних порід
	Приклади (7, 4, 2)
	 

Продовження таблиці 4

<table>
<tr><th>1</th><th>2</th></tr>
<tr><td rowspan="3">4, 5, 1</td><td>Здорова рослинність відображається у відтінках червоного, коричневого, жовтогарячого й зеленого. Ґрунти можуть виглядати зеленими або коричневими, урбанізовані території – білястими, сірими й зелено-блакитними, яскраво-блакитний колір може детектувати недавно вирубані території, а червонуваті – відновлення рослинності або розріджену рослинність. Чиста, глибока вода буде виглядати темно-синьою, майже чорною, якщо ж це мілководдя або у воді утримується велика кількість суспензій, то в кольорі будуть переважати більш світло-сині відтінки. Додавання середнього інфрачервоного каналу дозволяє домогтися гарного розрізнення віку рослинності. Здорова рослинність дає дуже сильне відбиття в 4 й 5 каналах. Ця комбінація малопридатна для детектування доріг і шосе</td></tr>
<tr><td>Приклади (4, 5, 1)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">4, 5, 3</td><td>Ця комбінація ближнього, середнього ІЧ і червоного видимого каналів дозволяє розрізнити межу між водою й сушею й підкреслити сховані деталі погано видимі під час використання тільки каналів видимого діапазону. З великою точністю будуть детектуватись водні об’єкти всередині суші. Ця комбінація відображає рослинність у різних відтінках і тонах коричневого, зеленого й жовтогарячого, також дає можливість аналізу вологості й корисна під час вивчення ґрунтів і рослинного покриву. У цілому, чим вища вологість ґрунтів, тим темніше вона буде виглядати, що обумовлено поглинанням водою випромінювання ІЧ діапазону</td></tr>
<tr><td>Приклади (4, 5, 3)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">5, 4, 1</td><td>Комбінація схожа на 7-4-2, здорова рослинність виглядає яскраво-зеленою, за винятком того, що ця комбінація краще для аналізу сільськогосподарських культур</td></tr>
<tr><td>Приклади (5, 4, 1)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
<tr><td rowspan="3">7, 5, 4</td><td>Ця комбінація не включає жодного каналу з видимого діапазону і забезпечує оптимальний аналіз стану атмосфери. Берегові лінії чітко помітні. Може бути використаний для аналізу текстури й вологості ґрунтів. Рослинність виглядає блакитною</td></tr>
<tr><td>Приклади (7, 5, 4)</td></tr>
<tr><td>  </td></tr>
</table>

Висновки дослідження. Для ефективного агроекологічного моніторингу, на нашу думку, найбільш прийнятними є знімальні системи Landsat-TM/ETM+, MODIS, що встановлена на борту супутників Terra та Aqua і яка дозволяє отримувати багатоспектральні знімки земної поверхні до 10-12 разів на добу з просторовою розрізненістю 1,1×1,1 км. Така розрізненість повністю задовольняє вимоги щодо агроекологічного моніторингу. Варто зазначити, що для роботи з системою Landsat-TM/ETM+ потрібно обрати необхідну комбінацію спектральних каналів. У системі агроекологічного моніторингу дослідження проводитимуться, переважно, по комбінаціях каналів 4, 3, 2 – для аналізу стану рослинного покриву, моніторингу дренажу, ґрунтової мозаїки та вивчення агрокультур; 7, 4, 2, і 5, 4, 1 – що можуть бути використані для вивчення с.-г. земель і аналізу с.-г. культур, а також можливе залучення у роботі комбінації каналів 7, 5, 4 – що використовуватиметься для аналізу текстури і вологості ґрунтового покриву [5]. Для роботи з даними систем Landsat-TM/ETM+ і MODIS може бути використана методика [2] і [6]. Застосування таких 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.

Список використаних джерел

1. Архів даних MODIS NASA –MODIS Rapid Response [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/realtime/2011061/.

2. Бурцев М. А. Построение архива спутниковых данных для анализа динамики растительности / М. А. Бурцев, А. А. Мазуров, И. А. Нейштадт [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. науч. статей / под ред. Е. А. Лупяна, О. Ю. Лавровой. – М.: Азбука-2000, 2006. – Т. 1. – С. 170-174.

3. Зацерковний В. І. Використання геоінформаційних технологій в аналізі ґрунтового покриву / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Інженерна геодезія. – К.: КНУБА, 2010. – № 56. – С. 162-168.

4. Зацерковний В. І. Обґрунтування вибору знімальної системи для моніторингу агроресурсів / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець // Вісник Тернопільського національного технічного університету: науковий журнал. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – Том 16. № 2. – С. 139-149.

5. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM/ETM+ [Электронный ресурс]. – Режим доступу: http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html.

6. Кривоберець С. В. Методи і алгоритми багатокористувацької обробки розподіленої просторової інформації на основі технологій геопорталів / С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Вісник ЧДТУ: збірник. Серія «Технічні науки». – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – № 42. – С. 213-221.

7. Можливості центру прийому й обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля щодо надання інформації дистанційного зондування землі та співпраця у вирішенні проблем Донеччини [Електронний ресурс] / О. М. Глущенко, О. О. Ремпель, В. М. Стасюк, С. Д. Скубко. – Режим доступу: http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=888.

8. Основи методології моніторингу агроресурсів та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за проектом MARS / В. Кравчук, Н. Сердюченко, О. Ковтуненко [та ін.] // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. / Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого). – Дослідницьке, 2009. – Вип. 13 (27). Кн. 2. – С. 3-14.

9. Програма GLCF Університету Меріленд [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp.

10. Huete, A., Justice C., and van Leeuwen W. Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document. Version 3, 1999, 129 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http:// modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13. pdf.