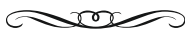


УДК 911.9:504.062.2

М. О. Балинська, О. С. Третьяков

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна



## ІДЕНТИФІКАЦІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ ЇХ ЧАСОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ОБРАЗУ

В роботі розглянуто методику визначення виду сільськогосподарських культур за космічними знімками із застосуванням алгоритму автоматичної ідентифікації на основі часового спектрального образу культури.

**Ключові слова:** ідентифікація культур, класифікація, часовий спектральний образ.

M. O. Balynska, O. S. Tretyakov

**IDENTIFICATION OF THE CROPS BY FORMING THEIR TEMPORAL SPECTRAL IMAGE.**

The work considers the technique of determining the type of crops by satellite images using an algorithm of automatic identification based on temporal spectral image of the culture.

**Key words:** identification of crops, classification, temporal spectral image.

M. O. Balinskaya, A. S. Tretyakov.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ИХ ВРЕМЕННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ОБРАЗА**

В работе рассмотрена методика определения вида сельскохозяйственных культур по космическим снимкам с использованием алгоритма автоматической идентификации на основе временного спектрального образа культуры.

**Ключевые слова:** идентификация культур, классификация, временной спектральный образ.

**Вступ.** Визначення видів сільськогосподарських культур є важливим завданням у дослідженнях різного характеру, зокрема для моніторингу сільськогосподарських земель, раціонального землекористування тощо. При цьому для ідентифікації культур доцільним є застосування результатів супутникових зйомок.

У даному дослідженні ідентифікація сільськогосподарських культур проводилася для цілей біоенергетики. Важливим було виділення на знімках полів, що зайняті головними культурами кожного регіону, визначення саме тих культур, відходи яких можуть бути використані в якості джерела енергії. Але загальна схема ідентифікації може бути використана і для досліджень інших напрямів.

### **Вихідні передумови.**

Визначають декілька підходів до ідентифікації культур із застосуванням космічних знімків. В основі більшості з них лежить класифікація знімків, контрольована або неконтрольована [4, 5], як основа «автоматизованого географічного дешифрування знімків» [4, с. 119], а відтак і можливість їх застосування для визначення виду сільськогосподарських культур. У роботі О. А. Войнова [2] викладені теоретико-методологічні основи дистанційного зондування агроценозів. Автор виділяє класифікацію з навчанням (еталонуванням) результатів зйомки в якості одного з основних етапів дослідження.

У ряді робіт відзначається недостатність використання одного знімку для розпізнання більшості

видів культур [1, 3]. Доведено, що на основі єдиного знімку Landsat можливим є лише розпізнання культур з різним проективним покриттям, але ідентифікація культур є неможливою. Відтак, доцільним є застосування знімків за декілька дат впродовж вегетаційного періоду.

При цьому, важливим завданням є перевірка можливості застосування розробленого алгоритму ідентифікації культур для територій з різними фізико-географічними умовами та різними формами ведення сільського господарства.

### **Формулювання цілей дослідження, постановка завдань.**

*Метою роботи* є апробація методики ідентифікації сільськогосподарських культур за серією космічних знімків Landsat для територій з різними умовами ведення сільського господарства.

Для досягнення мети вирішувалися наступні завдання:

- проведення неконтрольованої класифікації космічних знімків для досліджуваних територій;
- створення спектрального часового образу культур;
- автоматична ідентифікація культур на основі сформованих спектральних часових образів культур;
- аналіз отриманих результатів.

### **Виклад основного матеріалу.**

В якості територій дослідження обрано Золочівський район Харківської області та Пеї де Фужер (регіон Бретань, Франція).

Вихідні матеріали — знімки Landsat 7, сенсор ETM+ з травня по жовтень 2009 р. для Золочівського району та за 2000, 2001 та 2002 роки для Пеї де Фужер. Частина знімків не було використано у роботі, у зв'язку із закритістю територій дослідження хмарами. В результаті цього, аналізу та обробці підлягала лише частина доступних знімків за наступні дати: 26 травня, 11 та 27 червня, 21 липня, 1 жовтня 2009 року (для Золочівського району); 19 червня, 21 липня, 23 вересня, 10 листопада 2000 року, 21 травня, 22 червня, 25 серпня, 12 жовтня 2001 року (для Пеї де Фужер).

Загальна методика ідентифікації сільськогосподарських культур на основі створення їх спектрального часового образу за серією знімків має наступний вигляд:

а) попередня обробка знімків, визначення переліку основних сільськогосподарських культур для кожної досліджуваної території;

б) проведення неконтрольованої класифікації знімків (метод ISODATA) для досліджуваної території за декілька місяців;

в) аналіз відповідності між сільськогосподарськими культурами та класами, якими вони представлені, на кожен дату зйомки;

г) розробка алгоритму ідентифікації культур.

д) автоматичне виділення сільськогосподарських культур на досліджуваній ділянці на основі зведення воедино результатів класифікації серії знімків.

Попередньою умовою застосування даної схеми для певної території є визначення особливостей вирощування культур у конкретному регіоні (час посіву/збирання, наявність проміжних культур тощо).

Особливості вирощування культур у досліджуваних регіонах дещо різняться. По-перше, відрізняється перелік основних культур, що пояснюється головним чином тваринницькою спрямованістю сільськогосподарства Бретані. Для території Золочівського району розглядалися наступні культури: пшениця озима, ячмінь ярий, кукурудза, соняшник, цукрові буряки, соя, трави однорічні, гречка. В той же час, для території Пеї де Фужер перелік основних культур зведено до озимої пшениці, озимого ячменю, кукурудзи зернової, кукурудзи на силос. Значну частину території Пеї де Фужер займають пасовища. По-друге, для даної території характерною є наявність проміжних культур (що вирощуються на сільськогосподарських територіях для запобігання змиву азотних сполук у водойми, покращення структури ґрунту та ін.). По-третє, ключовим є врахування різниці дат посіву/збирання тих чи інших культур на полях досліджуваних територій, а відтак, і необхідність залучення знімків за різні місяці. Слід зазначити також таку відмінність як різниця у розмірах полів — поділ земель сільськогосподарського призначення на окремі поля у Бретані є значно дрібнішим, ніж в Золочівському районі, що дещо ускладнює інтерпретацію.

У програмі ERDAS IMAGINE було проведено неконтрольовану класифікацію для знімків за представлені місяці для всієї території Золочівського району та Пеї де Фужер, а також для окремої тестової ділянки у межах Золочівського району. Зміст неконтрольованої класифікації за алгоритмом ISODATA полягає у використанні формули найменших спектральних відстаней. Таким чином, кожен піксель знімку відноситься до того класу, відстань до сукупності середніх значень якого виявилася найменшою. Як результат, всі пікселі зображення виявляються розподіленими між визначеною кількістю класів.

На рисунку 1, в якості прикладу, представлена класифікацію серії знімків для Золочівського району. При цьому, результати класифікації для Золочівського району перевірялися за тестовою ділянкою (близько 20% території). Загальна кількість класів становить 10, але реальна кількість класів залежить від кількості хмар та нульових значень яскравості. Кожен клас являє собою групування культур, які в певному місяці мають подібні спектральні властивості в залежності від їх вегетаційного стану на момент зйомки.

**Формування спектрального образу культур.** Відповідно до відомостей про дати посіву/збирання тих чи інших культур на полях, проводився окремих аналіз співвідношення між культурами та класами, якими вони представлені на кожен дату зйомки. В основі цього визначення лежить те, що вегетаційний стан (фаза росту, вік) може впливати на спектральні характеристики культур через зміну величини проективного покриття (особливо на ранніх стадіях розвитку) або через зміну хімічних властивостей, зокрема зниження рівню хлорофілу (на пізніх стадіях розвитку).

Відтак, застосування серії знімків дає змогу фіксувати сукупність основних фенофаз культур. Таким чином, було сформовано часовий спектральний образ кожної культури для досліджуваних територій.

#### Золочівський район.

Озима пшениця на знімку за травень має значне проективне покриття (більші значення яскравості в 4-ому каналі при менших значеннях в 3-ому та 5-ому), тоді як сходи інших культур мають незначне проективне покриття. Але в цей час подібними до озимої пшениці можуть бути спектральні характеристики трав. У наступні місяці відбувається змішування озимої пшениці в єдині класи з іншими культурами. На знімках за кінець червня - початок липня (напередодні збирання врожаю), коли відбувається досягання пшениці, поля даної культури набувають відповідного забарвлення. Восени поля озимої пшениці представлені відкритим ґрунтом.

Ячмінь ярий має схожий спектральний профіль, окрім знімку за травень, де його проективне покриття менше, ніж у пшениці.

Горох формує з ячменем ярим змішані класи за більшістю знімків, але певне розділення даних куль-



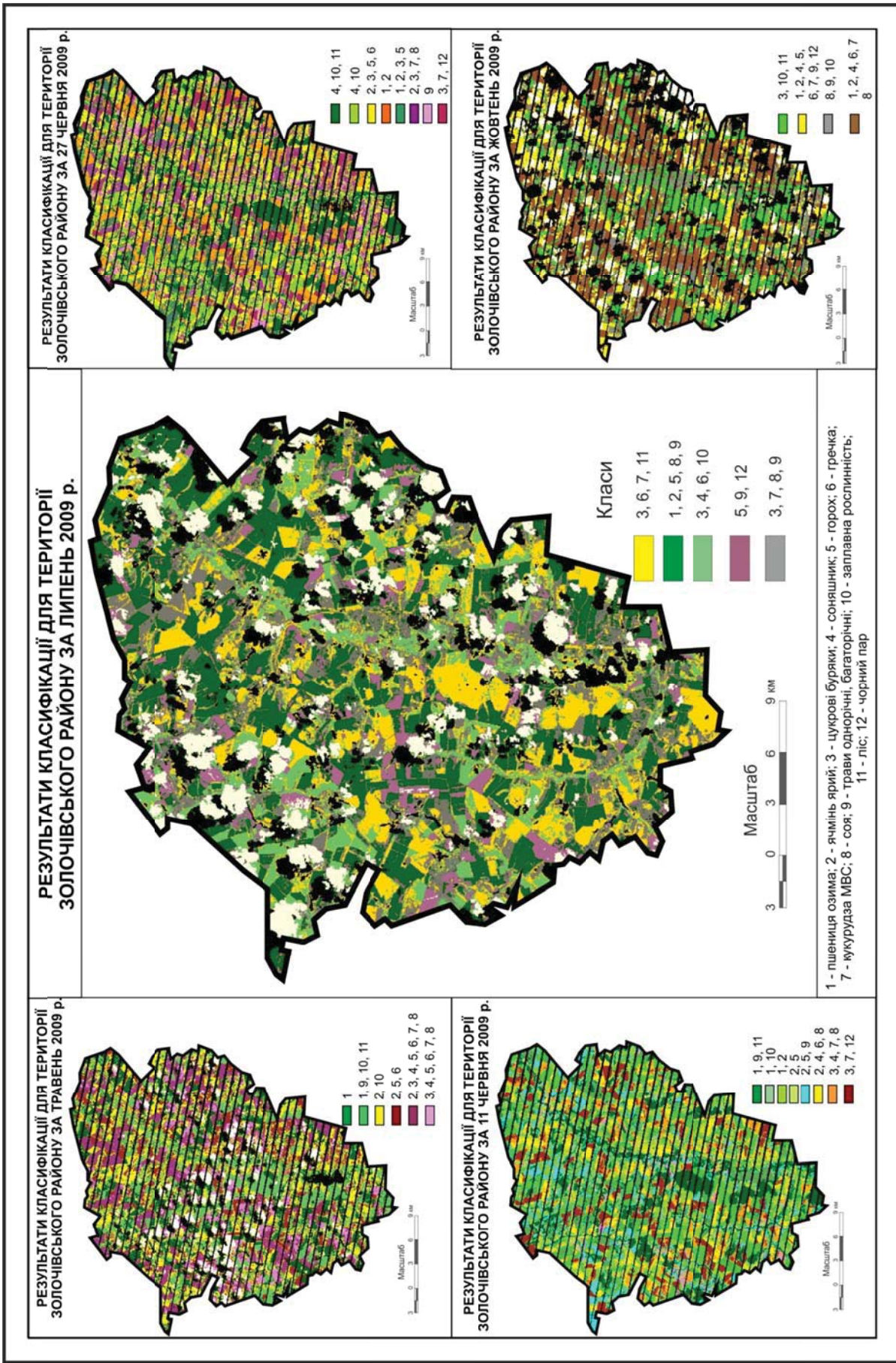


Рис. 1. Результати класифікації серії знімків на прикладі Золочівського району

тур є можливим на знімках, отриманих у середині червня.

Виділення соняшнику відбувається на основі того, що до середини червня на знімках ці поля представлені переважно відкритим ґрунтом. У кінці червня соняшник, на відміну від більшості інших культур, має досить високе проективне покриття та спектральну криву, характерну для яскраво-зеленої рослинності. Можливим в цей період є змішування з цукровими буряками, але у спектральних характеристиках соняшника, на відміну від буряків, восени головну роль відіграє ґрунт.

В свою чергу, буряки виділяються за рахунок того, що на знімку за жовтень вони представлені зеленою рослинністю з високим проективним покриттям. Урожай інших культур у цей період вже зібраний, відтак відповідні поля представлені відкритим ґрунтом.

Залучення до аналізу серпневого знімку дозволяє виділити кукурудзу. Особливостями аналізу цієї культури є те, що наприкінці червня відповідні поля представлені, головним чином, відкритим ґрунтом (тоді як, наприклад, соняшник має високе проективне покриття), а восени її врожай вже зібраний (тоді як буряки знаходяться в фазі активного розвитку). Відтак, за рахунок виключення полів, зайнятих під буряки та соняшник, можливо виділити поля, зайняті кукурудзою.

Соя та кукурудза мають схожий період розвитку та спектральні характеристики. Виокремлення сої від кукурудзи на основі наявних знімків можливе при використанні знімку за кінець червня. У цей період на полях сої участь ґрунту у формуванні спектрального профілю дещо зменшується (відбувається зниження яскравості в 5-ому каналі та незначне підвищення в 4-ому каналі). Значення ж яскравості в цих каналах для полів кукурудзи більш характерні для відкритого ґрунту. Більш точне розпізнавання можливе за знімками за початок – середину липня.

#### Пеї де Фужер.

Озима пшениця та озимий ячмінь. При класифікації знімків за 21 травня та 22 червня озима пшениця, ячмінь і пасовища утворюють кілька змішаних класів (до складу кожного з них входять усі зазначені культури). Виділення цих класів визначається, головним чином, проективним покриттям рослинності на полях. При цьому, в травні змішування в загальний клас озимої пшениці з кукурудзою не відбувається, тому що в цей час кукурудза знаходиться в стані сходів, отже, у формуванні спектрального профілю полів кукурудзи провідним є ґрунт. А в червні до складу змішаних класів входить також і кукурудза, що являє собою зелену рослинність. У кінці серпня та в жовтні поля пшениці озимої та ячменю являють собою прибрані поля (ґрунт), тому вони утворюють змішані класи. Поля озимої пшениці, зайняті в даний період проміжними культурами, об'єднуються в класи з пасовищами і полями кукурудзи на силос, а також полями ячменю (які зайняті проміжними культурами).

Кукурудза. Результати класифікації знімка за 21 травня свідчать, що в цей період кукурудза виділяється в окремі незмішані класи. Це пов'язано з тим, що з моменту посіву минуло недостатньо часу для формування на цих полях рослинності з високим проективним покриттям. На знімках за червень та серпень поля кукурудзи та пасовища об'єднуються в змішані класи, тому що покриті зеленою рослинністю. На знімках за 12 жовтня з усіх полів кукурудзи вкритими рослинністю залишаються лише поля під зерною кукурудзою. Вони утворюють класи, частково змішані з пасовищами. Поля кукурудзи на силос практично повністю прибрані.

#### **Ідентифікація культур**

Для автоматичного виділення класів на території з використанням часового спектрального образу культур необхідно перевести пікселі растрового зображення (знімку) в окремі точкові об'єкти векторного шару даних, з якими є можливість роботи в ГІС MapInfo Professional. На основі даного файлу в ГІС MapInfo Professional створено нову таблицю та точкові об'єкти в Універсальній поперечній проекції Меркатора (UTM WGS 84). У межах шару кожна точка має певне значення (від 0 до 10) відповідно до класу, якому вона відповідає в класифікації кожного знімка.

Після цього здійснено віднесення точок (пікселів) до того чи іншого виду сільськогосподарських культур на основі зведення воедино результатів класифікації серії знімків. Алгоритм виділення культур базується на встановлених співвідношеннях культур та класів, до яких вони віднесені за місяцями. Алгоритм має вигляд: «Якщо (на знімку 1 значення в точці  $A$  дорівнює класу  $a$  або значення в точці  $A$  дорівнює класу  $b$ ) та (на знімку 2 значення в точці  $A$  дорівнює класу  $a$  або значення в точці  $A$  дорівнює класу  $d$ ), то точка  $A$  відноситься до класу  $I$ ». Результуючі класи відповідають видам культур. Алгоритм реалізовується за допомогою додаткового модулю до ГІС MapInfo (розроблений авторами) та застосовується до кожної точки, в результаті чого кожній з них надається певне значення культури.

До даного алгоритму внесено поправки відповідно до особливостей представлених знімків та культур. Зокрема, при створенні алгоритму ідентифікації культур для знімків 2001 року (Пеї де Фужер) враховувалася наступна особливість. Знімок за серпень характеризується значною хмарністю. Таким чином, є два шляхи ідентифікації. Перший – виключення з розгляду ділянок під хмарами і тінями від них. Другий – врахування цих ділянок при ідентифікації. Для реалізації другого варіанту, до алгоритму ідентифікації було додано, окрім класів, що відповідають полям з культурами і пасовищами, класи хмар і тіней. Але при простому додаванні даних класів виникає проблема. Якщо врахувати, що значна частина полів, на яких прибрані озими, зайнята проміжними культурами (рослинністю), то на знімках за жовтень вони входять у загальні класи



разом з пасовищами, кукурудзою зерною (тобто дані пікселі мають спектральні характеристики рослинності). На знімках за травень і червень поля під озимими також опиняються в одних класах з пасовищами. Таким чином, якщо ділянки досліджуваної території на серпневому знімку закриті хмарами, то відокремити поля, які були під озимими зерновими, а зараз зайняті проміжними культурами, від пасовищ неможливо.

У результаті, для виділення озимих зернових без проміжних культур і з проміжними культурами використовувалися різні алгоритми:

1) Якщо на знімку за серпень точки відповідають класам відкритого ґрунту або хмар/тіней від них і на знімку за жовтень вони представляють собою відкритий ґрунт, то дані точки ідентифікуються як озимі зернові (без проміжних культур). За умови відповідності даних точок характеристикам озимих за попередні дати знімків.

2) Якщо на знімку за серпень точки відповідають класам відкритого ґрунту і на знімку за жовтень вони представлені рослинністю, то дані точки ідентифікуються як озимі зернові (з проміжними культурами). За умови відповідності даних точок характеристикам озимих за попередні дати знімків.

#### Виявлені проблеми

1. Наявність хмар, тіней від них, інших спотворень на знімках, що в дійсності не збігаються. Як результат – значна частина території може бути вилучена з розгляду. При ідентифікації культур за се-

рією знімків 2001 року (для території Пеї де Фужер) зроблена спроба нівелювати негативний вплив даної особливості, включивши дані класи в алгоритм. При цьому частина території з розгляду не вилучається, але можливими є деякі спотворення в результатах.

2. Відсутність знімків на ключові для виділення культур дати. В результаті проблемним стало виділення гороху для Золочівського району та розділення пшениці озимої та ячменя озимого для Пеї де Фужер. Для останніх повного розділення досягти неможливо через значні накладання дат збирання врожаю даних культур.

3. Наявність проміжних культур (Пеї де Фужер). Дана особливість разом з недостатньою кількістю знімків на ключові дати призвела до неможливості поділу більшості культур за серією знімків за 2000 рік, а також до певного спотворення в результатах при виділенні культур на основі знімків 2001 року.

4. Смугастість знімків через дефект знімальної системи (Золочівський район). Ця властивість мала негативний вплив на результати класифікації та завадила провести їх повну оцінку за межами тестової ділянки.

#### Аналіз результатів

У результаті застосування алгоритму до знімків на досліджувані ділянки ідентифіковано наступні культури (групи культур):

– для Золочівського району – озима пшениця, ячмінь ярий, горох (частково змішується з ячменем ярим), цукрові буряки, соняшник, кукурудза, однорічні трави.

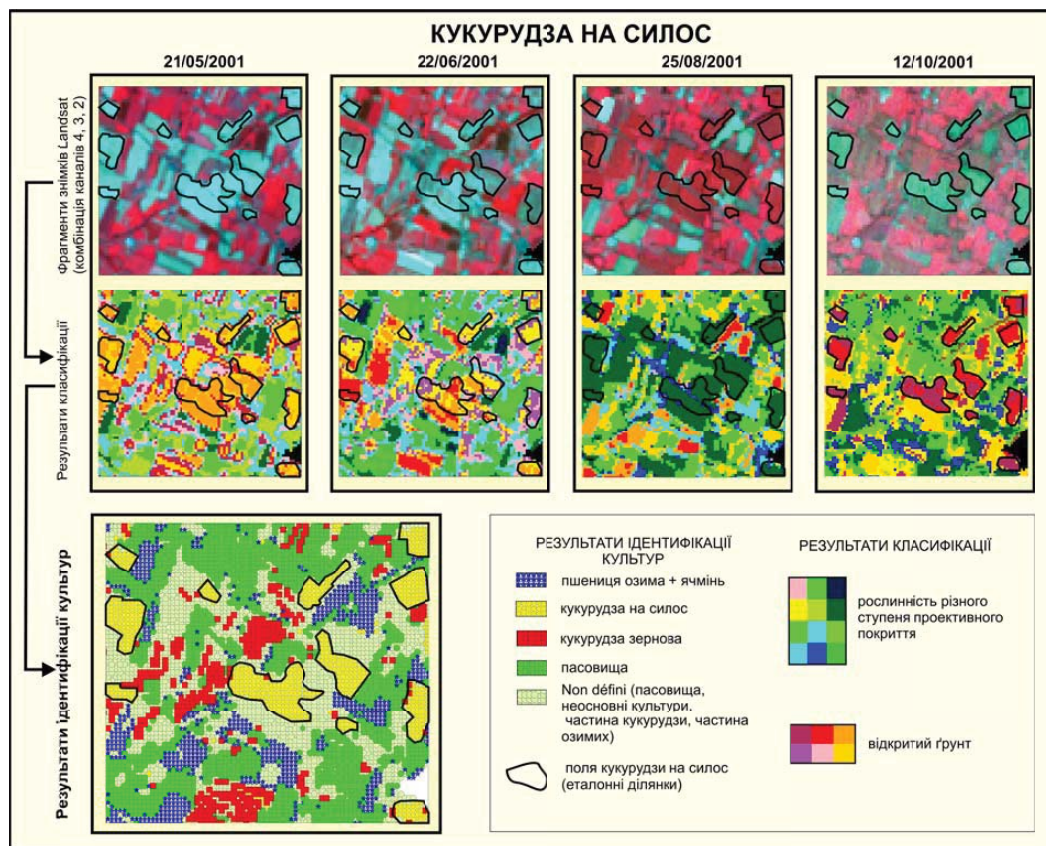


Рис. 2. Представлення етапів та результатів ідентифікації культур (на прикладі кукурудзи на силос)

— для Пеї де Фужер — кукурудза зернова, кукурудза на силос, озимі зернові (пшениця та ячмінь разом), пасовища. При цьому, клас озимих зернових розглядався у двох варіантах — стандартному (при відсутності проміжних культур) і при наявності проміжних культур.

Оцінка результатів класифікації здійснювалася для Золочівського району на основі порівняння з тестовою ділянкою, для Пеї де Фужер — з даними щодо сівозмін на території за 2007 рік.

Відповідно до тестової ділянки визначено високу ефективність ідентифікації зазначених культур. Порушили загальну картину смуги на знімках, а також виділення в змішані класи окремих полів (частин полів) під ячменем ярим та горохом.

У відсотковому відношенні від загальної кількості пікселів зображення, без застосування тестової ділянки (для Пеї де Фужер) ідентифіковано більше 70% точок. До групи невизначених точок потрапили «неосновні» культури району, поля під паром, значна частина пасовищ (наприклад, ті, які змінили свої спектральні властивості через витоуптування), частково основні культури.

Ефективність ідентифікації культур на прикладі кукурудзи на силос дозволяє оцінити рис. 2, на якому представлено етапність ідентифікації на знімках за використані місяці, їх відображення у результатах класифікації.

Найбільшу площу на розглянутій території за результатами класифікації займають пасовища. Кукурудза й озимі зернові знаходяться практично в рівному співвідношенні. При цьому, співвідношення між зерною кукурудзою та кукурудзою

на силос становить близько 1:4. Аналізуючи просторове розміщення сформованих класів, бачимо, що більша частина полів під озимими зерновими розташована в західній частині території. Поля під кукурудзою концентруються переважно в її південно-східній частині. Зокрема, саме на південному сході розташовані основні масиви полів під кукурудзою зерною. У центральній частині переважаючими є пасовища. Відтак, відзначається схожість просторової структури на основі ідентифікації з даними сівозмін на території за 2007 рік. Це слугує підтвердженням доцільності використання методу ідентифікації за серією знімків.

#### **Висновки.**

Використання методики ідентифікації сільськогосподарських культур на основі створення їх часових спектральних образів показало досить високу ефективність визначення видів основних культур досліджуваних ділянок. Доведено доцільність застосування серії космічних знімків для визначення виду культур, за умови врахування особливостей ведення рослинництва в кожному конкретному регіоні. Таким чином, розроблений алгоритм може вважатися базовим для проведення досліджень подібного характеру. Ефективне застосування даної методики ідентифікації культур для територій із різними фізико-географічними умовами підтверджує універсальність даної методики та її стійкість до природних та антропогенних змін.

**Рецензент – доктор географічних наук,  
професор І. Г. Черваньов**

#### **Література:**

1. Балинська М. О. Використання класифікації з навчанням для моніторингу сільськогосподарських земель / М. О. Балинська, О. С. Третьяков // Вісн. Харк. нац. ун-ту. — 2009. — №882'31. — С. 103-109.
2. Войнов О. А. Мониторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами / О. А. Войнов — К.: Ин-т телекоммуникаций и глоб. информ. пространства, 2005. — 392 с.
3. Дистанционное зондирование: количественный подход / [Ш. М. Дейвис, Д. А. Ландгребе, Т. А. Филипп и др.]; под ред. Ф. Свейна, Ш. Дейвис. — Пер. с англ. — М.: Недра, 1983. — 415 с.
4. Лурье И. К. Теория и практика цифровой обработки изображений / И. К. Лурье, А. Г. Косиков, под ред. А. М. Берлянта — М.: Научный мир, 2003. — 168 с., 8 с. цв. вкл. — (Дистанционное зондирование и географические информационные системы).
5. ERDAS IMAGINE. Справочное руководство Field Guide. Norcross, Geospatial Imaging, LLC, 2005. — 686 с.