



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 11 • № 1 • 2015 С. 91 – 98

УДК 528.855+835

Детектування посівів озимих культур за супутниковими даними на основі ґрунтового-адаптивного перпендикулярного вегетаційного індексу

Л.В. Підгородецька, Я.І. Зелик*

Інститут космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України

Розглянуто розроблену та реалізовану методику виявлення посівів озимих культур на основі автоматичної класифікації супутникового растрового зображення території сільськогосподарських угідь у значеннях перпендикулярного вегетаційного індексу PVI за даними продукту MOD09 спектрорадіометра MODIS та з використанням наземних опорних даних щодо сівозмін на території господарства. Засобами програмного середовища ERDAS IMAGINE реалізована модель розрахунку значень індексу PVI на основі отриманого рівняння ґрунтової лінії та побудовано растрове зображення території у значеннях індексу PVI. Високий відсоток збігу місць розташування та площ ділянок посівів озимих культур (не менше, ніж 70%), класифікованих за розробленою методикою, з наземними даними щодо сівозмін господарства свідчить про можливість застосування методики для ефективного оперативного виявлення озимих за супутниковими даними в осінньо-зимовий період на регіональному рівні.

ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОСЕВОВ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ НА ОСНОВЕ ПОЧВЕННО-АДАПТИВНОГО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОГО ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА, Подгородецкая Л.В., Зелик Я.И. — Рассмотрена разработанная и реализованная методика выявления посевов озимых культур на основе автоматической классификации спутникового растрового изображения территории сельскохозяйственных угодий в значениях перпендикулярного вегетационного индекса PVI по данным продукта MOD09 спектрорадиометра MODIS и с использованием наземных опорных данных севооборотов на территории хозяйства. Средствами программной среды ERDAS IMAGINE реализована модель расчета значений индекса PVI на основе полученного уравнения почвенной линии и построено растровое изображение территории в значениях индекса PVI. Высокий процент совпадения мест расположения и площадей участков посевов озимых культур (не менее 70%), классифицированных по разработанной методике, с наземными данными о севооборотах хозяйства свидетельствует о возможности применения методики для эффективного оперативного выявления озимых по спутниковым данным в осенне-зимний период на региональном уровне.

DETECTION OF WINTER CROPS BY SATELLITE DATA ON THE BASIS OF SOIL-ADAPTIVE PERPENDICULAR VEGETATION INDEX, by Pidgorodetska L.V., Zelyuk Ya.I. — The developed and implemented technique of winter crops detection on the basis of automatic classification of satellite raster imagery of the agricultural land in the perpendicular vegetation index PVI values according spectroradiometer MODIS MOD09 product and using ground reference data on crop rotation on the farm territory is considered. In the software environment ERDAS IMAGINE the PVI index calculation model is implemented, based on the equation of soil line, and built the raster image of the territory in the PVI index values is built. A high percentage of coincidence locations and of winter crops land areas (not less than 70%) classified by the developed technique with ground data on crop rotations on the farm territory demonstrates the possibility of techniques applying for effective operative detection of winter crops based on satellite data during the autumn-winter period on the regional level.

Ключевые слова: озимые культуры; растровое изображение; автоматическая классификация; перпендикулярный вегетационный индекс PVI; MOD09 продукт данных MODIS; спектральный коэффициент отражения поверхности.

Key words: winter crops; raster image; automatic classification; perpendicular vegetation index PVI; MODIS MOD09 data product; surface reflectance.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ВІДКРИТИХ ПОВЕРХОНЬ ҐРУНТУ, ОРНИХ ЗЕМЕЛЬ ТА ПОСІВІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР З ВИКОРИСТАННЯМ ҐРУНТОВО-АДАПТИВНИХ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ

Використання спектральних вегетаційних індексів (BI) для дистанційної оцінки рослинності у низці випадків забезпечує істотні переваги завдяки їх меншій залежності від змін яскравості ґрунтів, умов освітлення та спостереження, прозорості атмосфери. Особливий інтерес являє собою група ґрунтового-адаптивних індексів, в основі яких лежить експериментально встановлений факт наявності близького до лінійного зв'язку (лінії ґрунтів або ґрунтової лінії) між значеннями спектрального коефіцієнта відбиття (коефіцієнта яскравості) відкритого ґрунту у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах спектра. При цьому відповідні до однакового розвитку рослинності значення ґрунтового-адаптивних індексів є квазіінваріантними до змін типів і стану ґрунтів. Цей факт є важливим

*Зелик Ярема Ігорович; ✉ adapt09@gmail.com

при об'єктивному (незалежному від яскравості ґрунту) дистанційному автоматизованому оцінюванні стану рослинності та його сезонних змін, а також при оцінюванні орних земель та відкритих ґрунтів на великих територіях [1–4].

Концепція ґрунтової лінії вперше була запропонована Richardson і Wiegand у 1977 р. [5]. Ґрунтова лінія є важливим поняттям для обчислення ґрунтово-адаптивних вегетаційних індексів і представляє собою гіпотетичну пряму у двовимірному просторі ознак супутникового зображення, осями якого є спектральні відбивні здатності поверхні Землі у червоному (*RED*) і ближньому інфрачервоному (*NIR*) діапазонах відповідно [1–11]. Ґрунтова лінія може бути побудована через визначення двох або більше еталонів відкритого ґрунту, що мають різний ступінь спектральної відбивної здатності. Kauth і Thomas (1976) [6–9, 11] вперше описали знаменитий «трикутний регіон у формі шапочки з китицею» (Tasseled Cap Transformation [8]) у двовимірному спектральному просторі (*RED*, *NIR*) супутникових даних сенсора *MSS* ранніх космічних систем *Lansat*. Kauth і Thomas у [8] показали, що вершина цього трикутника, яка лежить на ділянці низького відбиття у зоні *RED* і високого відбиття у зоні *NIR*, відповідає районам з максимальним рівнем вегетації рослинності, а основа трикутника, що лежить навпроти його вершини, відповідає відкритому ґрунту без рослинності. Пряма лінія, яка найкращим чином апроксимує основу трикутника і визначається за методом найменших квадратів за значеннями пікселів у цій частині трикутника, називається ґрунтовою лінією.

При розробленні методів дистанційного виявлення та оцінювання стану різних видів рослинності виникає проблема знаходження таких інформативних ознак, які б забезпечували необхідну точність визначення на їх основі біофізичних та біохімічних характеристик угруповань рослин. При дистанційному аналізі спектральних характеристик відбиття земної поверхні основними зовнішніми факторами, що впливають на відбивну здатність складної системи ґрунт–рослинність і утруднюють розділення цих компонентів, є самі характеристики ґрунту та умови освітлення. Тому для зменшення їх впливу з метою істотного збільшення контрастності між власне рослинністю та ґрунтом використовують перетворення спектральних ознак відбиття за вихідним супутниковим зображенням до нових інформативних ознак — так званих вегетаційних індексів [5–7, 9–11]. В основу вегетаційних індексів покладено істотні відмінності між відбиттям сонячного випромінювання рослинністю та ґрунтом в інфрачервоному, червоному, та зеленому діапазонах спектру.

У випадку, коли досліджувана територія характеризується істотно густою рослинністю, переважно одного виду, а поверхня відкритого ґрунту на супутниковому зображенні майже не представлена, ґрунтова лінія у просторі спектральних ознак (*RED*, *NIR*) є нечітко вираженою. Це унеможливорює використання вегетаційних індексів, що базуються на понятті ґрунтової лінії, зокрема перпендикулярних *BI*, для оцінювання рослинності [5–7, 9] у випадку густої рослинності. Тоді ефективним є використання найбільш поширеного нормалізованого різницевого вегетаційний індексу (Normalized Difference Vegetation Index, *NDVI*) [5–7, 9–11]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

де *NIR* і *RED* — значення спектральної відбивної здатності у ближньому інфрачервоному та червоному діапазонах спектру відповідно. *NDVI* простий для обчислення, має найширший динамічний діапазон з поширених *BI* і високу чутливість до змін у рослинному покриві. Він помірно чутливий до змін ґрунтового та атмосферного фону і є ефективною кількісною характеристикою фотосинтетично активної біомаси у рослинності. Відомо, що висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) призводить до нижчої відбивної здатності рослинного покриву у червоній області спектра і вищої — в інфрачервоній [6, 7, 9, 11]. Відношення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати й аналізувати рослинні покриви від інших природних об'єктів. Використання не простого відношення *NIR* до *RED*, а нормалізованої різниці між мінімумом та максимумом відбиттів підвищує точність вимірювань, дозволяє зменшити вплив таких явищ, як відмінності в освітленості знімка, хмарності, димки, поглинання радіації атмосферою. Недоліком індексу *NDVI* є неможливість його ефективного використання для виявлення та кількісного опису рослинності у випадку бідної рослинності та явно вираженого змішаного характеру рослинного покриву. Особливо проблемним використання *NDVI* є тоді, коли (на ранніх стадіях вегетації) проективне покриття рослинністю ґрунту є істотно меншим від повного, і у спектральну яскравість відбитого системою рослинність–ґрунт сонячного випромінювання істотний внесок робить саме ґрунт.

Вказані обмеження на використання індексу *NDVI*, зумовлені розрідженістю та змішаним характером рослинного покриву, усуваються при використанні для оцінювання вкладів окремих видів рослинності та підстильного ґрунту, так званих перпендикулярних вегетаційних індексів, які засновані на концепції ґрунтової лінії [1–11]. Спосіб обчислення перпендикулярних індексів ґрунтується на визначенні у просторі спектральних ознак, відстані (довжини перпендикуляра) від точки (*RED*, *NIR*), що відповідає значенню відбивної здатності для пікселя зображення на ізоляції рослинності, до ґрунтової лінії (ну-

льовий рівень рослинності) певного регіону. Зокрема, набув поширення ефективний перпендикулярний вегетаційний індекс (Perpendicular Vegetation Index, *PVI*), вперше запропонований Richardson і Wiegand у 1977 р. [5], який визначається таким чином:

$$PVI = \sqrt{(NIR - NIR_{soil})^2 + (RED - RED_{soil})^2},$$

де (RED_{soil}, NIR_{soil}) — координати точки (на ґрунтовій лінії), яка є проекцією точки (RED, NIR) на ґрунтову лінію. Чим більше значення індексу *PVI* (більша відстань точки (RED, NIR) до ґрунтової лінії), тим більша кількість рослинності присутня на даній території (більше проективне покриття рослинністю ґрунту). Положення точки (RED_{soil}, NIR_{soil}) на ґрунтовій лінії характеризує вологість ґрунту: чим нижче положення, тим вища вологість ґрунту.

Ґрунтово-адаптивний перпендикулярний вегетаційний індекс *PVI* значною мірою інваріантний до змін яскравості ґрунтового покриву і тісно корелює з об'ємом зеленої біомаси рослинності та вмістом хлорофілу, що робить доцільним його використання для моніторингу рослинності на регіональному рівні, а ґрунтова лінія виявляється єдиною для типів і підтипів ґрунтів певної природно-кліматичної зони [1–4].

Зокрема, в [1–3] для врахування сезонної динаміки спектральної відбивної здатності земної поверхні використані щотижневі композитні ряди значень коефіцієнта спектральної яскравості земної поверхні за багаторічними даними спектрорадіометра MODIS на космічних апаратах Terra і Aqua для побудови рядів зображень великих територій у значеннях індексу *PVI*. У таких попередньо оброблених зображеннях враховано значення кута падіння Сонця на поверхню у момент знімання та компенсовано вплив таких несприятливих факторів, як хмарний та сніговий покрив, тіні від хмар і об'єктів та апаратні шуми.

В [1, 2] розроблено метод автоматизованого розпізнавання орних земель, а в [3] — метод виявлення посівів озимих культур. Метод [1, 2] передбачає обчислення за супутниковими даними набору ознак розпізнавання, що враховують особливості сезонної та річної динаміки спектральних відбивних характеристик використовуваних орних земель, що відрізняють їх від інших категорій сільськогосподарських угідь та природної рослинності. Виявлення орних земель проводиться з використанням методу локально-адаптивної класифікації з навчанням, що враховує просторову варіабельність значень ознак розпізнавання. Використання методу дозволило створити карту орних земель для всієї території Росії. Валідація даних отриманої карти з опорними наземними даними для тестових регіонів Росії дозволила оцінити точність методу класифікації орних земель за принципом максимальної правдоподібності як відношення правильно віднесених до класу класифікованих пікселів до загальної кількості пікселів класу в опорній вибірці — оцінку ймовірності правильної класифікації. У середньому для тестових ділянок по всій території Росії ймовірність правильної класифікації орних земель не опускалась нижче 80%.

У [4] запропоновано метод автоматизованого виявлення відкритої поверхні ґрунту для цілого регіону за супутниковими знімками на основі побудови ґрунтової лінії, обчислення ґрунтово-адаптивних адаптивних індексів та вибору найбільш ефективного з них.

Досліджено спектральні властивості ґрунтів Белгородської області на основі рядів супутникових зображень Landsat 5 TM. Встановлено, що для зональних типів та ґрунтів лісостепової природної зони можна побудувати єдину ґрунтову лінію. На основі коефіцієнтів нахилу та зміщення ґрунтової лінії обчислено серії спектральних індексів: *PVI*, *WDVI*, *MSAVI*, *TSAVI*, *RVlc*. При виявленні відкритої поверхні орного ґрунту найвищий показник ефективності демонструє вегетаційний індекс *WDVI* — зважений різницею *VI*, який є простішим ніж *PVI*, і визначається таким чином:

$$WDVI = NIR - g \cdot RED,$$

де *g* — коефіцієнт нахилу ґрунтової лінії. *WDVI* показав найвищий показник відділюваності відкритого ґрунту на основі *M*-статистики [12] від сільськогосподарської рослинності. При дешифруванні відкритої поверхні ґрунту застосовано метод квантування напівтонового зображення. Оцінено точність розпізнавання відкритих поверхонь ґрунту за відносним порівнянням площ дистанційно виявлених поверхонь з площами реальних наземних ділянок, яка становила у середньому 92,8%.

2. ВИЯВЛЕННЯ ПОСІВІВ ОЗИМИХ КУЛЬТУР НА ОСНОВІ КЛАСИФІКАЦІЇ СУПУТНИКОВОГО РАСТРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ТЕРИТОРІЇ У ЗНАЧЕННЯХ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОГО ВЕГЕТАЦІЙНОГО ІНДЕКСУ *PVI*

Метою роботи, результати якої розглядаються у цій статті, є здійснення детектування площ посівів озимих культур в осінньо-зимовий період за даними супутникового знімання досліджуваної території за допомогою спектрорадіометра MODIS з супутників Terra і Aqua та наземними опорними даними щодо сівозмін на цій території.

Досліджувана територія вибрана на базі сільськогосподарських угідь господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області.

Найбільш прийнятним для розв'язання поставленої задачі є використання продукту даних приладу MODIS — Surface Reflectance (MOD09) — спектральна відбивна здатність поверхні Землі з врахуванням

атмосферної корекції, — у червоному (*RED*) та ближньому інфрачервоному (*NIR*) діапазонах (1 та 2 канал відповідно) з просторовим розрізненням на місцевості 250 м [13]. Рис. 1 представляє синтезоване зображення на базі продукту даних MOD09 за моделлю представлення кольору RGB на екрані монітора з комбінацією спектральних каналів супутникового знімка (2:1:2). Рис. 2 демонструє перетворення всіх пікселів синтезованого зображення у двовимірний простір спектральних ознак (*RED*, *NIR*). Явно видно «трикутний регіон у формі шапочки з китицею» з яскраво вираженими вершиною та основою трикутника, що описується ґрунтовою лінією.

Процес виявлення посівів озимих культур на досліджуваній території реалізується за такими етапами.

1. *Оброблення даних наземних спостережень.* Для оброблення даних наземних спостережень, що здійснювалися на території вказаного господарства у 2001 р., використано формат Shape — широко розповсюджений векторний формат географічних файлів. Наземні дані щодо сівозмін господарства, отримані у вигляді картосхем за цей рік, переведені з паперових носіїв до електронного вигляду шляхом векторизації території господарства за знімками супутника Landsat 7 ETM+ у панхроматичному діапазоні.

Процес векторизації полягає в оконтурюванні засобами ARCGIS (модуль ArcMap) на зображенні у ручному або автоматичному режимі меж полів, яружно-балкової мережі і населених пунктів з точністю до пікселя (15×15 м) у знімальній системі Landsat 7 ETM+ і формуванні у відповідних файлах формату Shape даних щодо координат вузлів полігональних об'єктів — полів під культурами, під паром і проектних полів, — сільськогосподарських угідь, що перебувають у процесі планування землекористування та організації території з метою більш продуктивного використання земель. У результаті реалізації цього етапу обробки отримано файл формату Shape полігональних об'єктів з атрибутивними даними щодо сівозмін господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області за 2001 рік (рис. 3).

2. *Визначення ґрунтової лінії.* За даними продукту MOD09 від 16 листопада 2000 р. у червоному та ближньому інфрачервоному діапазонах спектру на основі векторизованих даних щодо сівозмін господарства, накладених у вигляді контурів на підстильне зображення регіону за даними MOD09, виокремлено ділянку відкритого ґрунту (під паром) (рис. 4), значення спектрального коефіцієнта відбиття якої конвертовано у текстовий формат.

Шляхом побудови лінійної регресії значень спектрального коефіцієнта відбиття вибраної ділянки відкритого ґрунту у ближньому інфрачервоному діапазоні (*NIR*) на його значеннях у червоному діапазоні (*RED*) у двовимірному просторі ознак для множини пікселів зображення, що потрапили на виокремлену ділянку відкритого ґрунту, визначено рівняння лінії ґрунтів, яке має вигляд

$$NIR = 1,727267 \cdot RED + 0,000865, \quad (1)$$

з високим значенням коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,892677$ і відображене у просторі ознак (*RED*, *NIR*) на рис. 5.

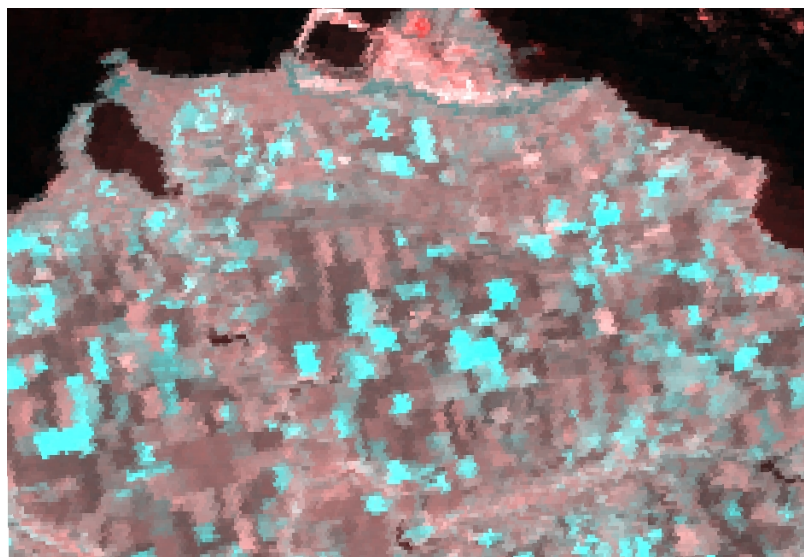


Рис. 1. Синтезоване зображення території Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області на базі продукту даних MOD09 від 16.11.2000 р. за моделлю представлення кольору RGB з комбінацією спектральних каналів супутникового знімка (2:1:2)

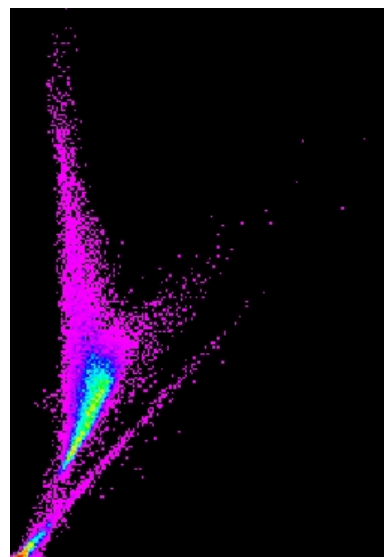


Рис. 2. Перетворення всіх пікселів синтезованого зображення території Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області на базі продукту даних MOD09 від 16.11.2000 р. у двовимірний простір спектральних ознак (*RED*, *NIR*)

3. *Розрахунок PVI.* На основі математичного виразу для знаходження відстані (довжини перпендикуляра) від точки до прямої — ґрунтової лінії (1), — отримано такий вираз для обчислення значень перпендикулярного вегетаційного індексу *PVI* у двовимірному просторі ознак у точці з координатами (*RED*, *NIR*):

$$PVI(RED, NIR) = \frac{-1,727267 \cdot RED + NIR - 9,6501 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{1,727267^2 + 1}}. \quad (2)$$

Засобами програмного середовища ERDAS IMAGINE реалізовано модель розрахунку *PVI* згідно виразу (2) та отримано растрове зображення досліджуваної території у значеннях розрахованого індексу *PVI* (рис. 6).

4. *Детектування посівів озимих.* Класифікацію отриманого растрового зображення досліджуваної території у значеннях розрахованого індексу *PVI* здійснено за процедурою ISODATA (Ітераційна самоорганізована методика аналізу даних — Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), яка вбудована у середовище ERDAS IMAGINE [14].

Процедура ISODATA використовується для класифікації без навчання (безеталонної класифікації) та базується на кластерному аналізі [14, 15]. При обробленні багатоспектральних даних дистанційного зондування використовується формула мінімальної евклідової відстані значення яскравості (*i, j*)-го пікселя зображення у різних спектральних каналах. Сукупність цих значень можна записати у вигляді вектора \vec{f}_{ij} . Кластеризація починається з довільно заданих середніх або з середніх значень, взятих з існуючих сигнатур, \vec{f}_{mn} . Кластери формуються таким чином, щоб у кожному з них відстань між окремими пікселями була мінімальною, а відстань між пікселями різних кластерів була якомога більшою. Мірою віднесення точки до кластеру є евклідова відстань між векторами \vec{f}_{ij} та \vec{f}_{mn} .

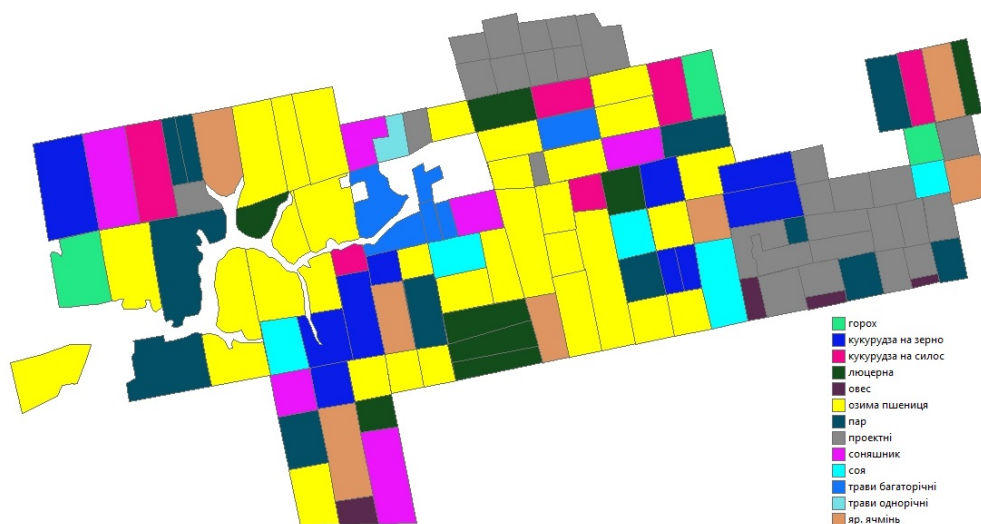


Рис. 3. Відображення у файлі формату Shape сівозмін господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області у 2001 р. за наземними даними

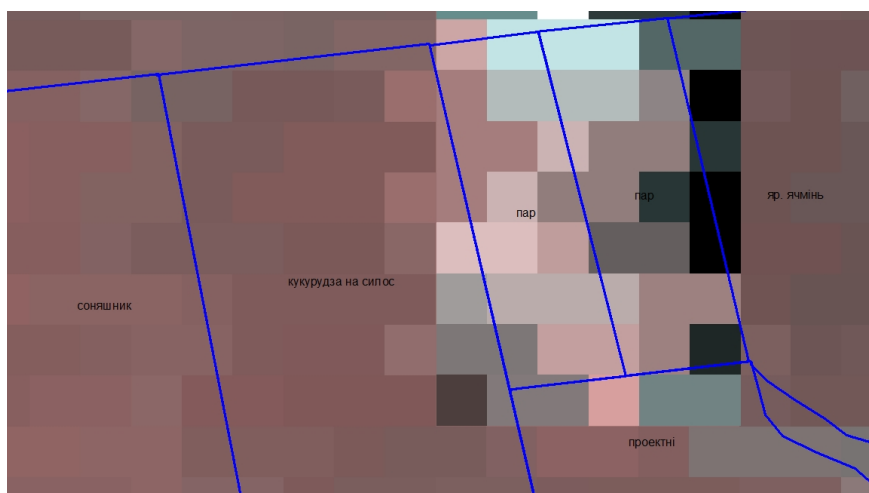


Рис. 4. Виокремлення на зображенні за даними продукту MOD09 ділянки відкритого ґрунту (під паром) на основі даних щодо сівозмін господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області

Якщо $\{f_{kij}\}$, $\{f_{kmn}\}$ — компоненти цих векторів, де k — номер спектрального каналу, то узагальнена за всіма спектральними каналами евклідова відстань між відповідними векторами яскравості визначається як

$$r_E = \sqrt{\sum_k (f_{kij} - f_{kmn})^2}.$$

Після віднесення всіх пікселів до одного з можливих кластерів центри кластерів f_{kmn} зміщуються і процес повторюється повністю спочатку (наступна ітерація). Процес продовжується до того часу, поки не буде досягнуто максимальної кількості ітерацій процедури класифікації або не буде досягнуто максимального відсотку пікселів, що не змінили належності до свого кластеру (так звана межа збіжності — convergence threshold (CT)). Наприклад, якщо CT становить 0,95, то процес кластеризації закінчиться, як тільки максимум 5% пікселів змінять свій кластер. Центри кластерів будуть мати такі координати у просторі ознак, які були при кластеризації на останній ітерації.

Початкові значення центрів кластерів можуть розраховуватися шляхом обчислення заданої кількості середніх значень пікселів (апріорної кількості кластерів) за усім зображенням уздовж діагоналі або шляхом обчислення заданої кількості середніх значень за усім растром, перетвореним з вихідного растру за методом головних компонент [6, 7, 11].

Класифікація растрового зображення території господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області у значеннях розрахованого індексу PVI здійснювалася за алгоритмом ISODATA з розбиттям на 2 класи — озимина та не озимина (інша рослинність). Кількість можливих ітерацій процедури класифікації ISODATA становила не більше 20, межа збіжності становила $CT = 99\%$. Порогом відокремлення класів стало значення індексу $PVI = 0,035211819$.

На рис. 7 наведено результати детектування посівів озимих культур на основі класифікації зображення у значеннях індексу PVI території господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області. Відображено два векторні шари полігональних об'єктів, представлені файлами формату Shape. Перший векторний шар відповідає результатам класифікації растрового зображення досліджуваної території у значеннях індексу PVI на два класи: озимина — зелені полігональні ділянки; не озимина — темно-сірий фон. Другий векторний шар відповідає підписаним за назвами сільськогосподарських культур контурам полігональних сільськогосподарських ділянок господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області, відображених на рис. 3 легендою сівозмін господарства станом на 2001 р. за наземними даними. З аналізу рис. 7 видно високий відсоток збігу місць розташування та площ класифікованих за процедурою ISODATA ділянок посівів озимих культур з наземними даними щодо сівозмін господарства у 2001 р., а кількісний аналіз сумарних площ вказаних типів ділянок у двох векторних шарах дає оцінку точності збігу не меншу, ніж 70%.

3. ВИСНОВКИ

На основі аналізу стану проблеми виявлення відкритих поверхонь ґрунту, орних земель та посівів сільськогосподарських культур з використанням ґрунтово-адаптивних вегетаційних індексів обґрунтовано актуальність використання перпендикулярного вегетаційного індексу PVI для виявлення ділянок озимих культур на регіональному рівні.

Розроблено та реалізовано методику виявлення посівів озимих культур на основі класифікації супутникового растрового зображення у значеннях перпендикулярного вегетаційного індексу PVI території сільськогосподарських угідь господарства «Степовий» Кам'янсько-Дніпровського району Запорізької області за даними продукту MOD09 спектрорадіометра MODIS та використання наземних опорних даних щодо сівозмін на території господарства.

Методику реалізовано за такими етапами:

1. Оброблення даних наземних спостережень щодо сівозмін господарства, отриманих у вигляді картосхем за рік, шляхом переведення їх з паперових носіїв до електронного вигляду та векторизації території господарства за знімками супутника Landsat 7 ETM+ у панхроматичному діапазоні.
2. Визначення рівняння ґрунтової лінії шляхом побудови лінійної регресії значень спектрального коефіцієнта відбиття вибраної ділянки відкритого ґрунту у ближньому інфрачервоному діапазоні на його значеннях червоному діапазоні для множини пікселів зображення на основі даних продукту MOD09, що потрапили на виокремлену ділянку відкритого ґрунту.
3. Реалізація засобами програмного середовища ERDAS IMAGINE моделі розрахунку значень індексу PVI на основі отриманого рівняння ґрунтової лінії та побудова растрового зображення території у значеннях індексу PVI .
4. Здійснення за процедурою ISODATA у середовищі ERDAS IMAGINE автоматичної класифікації отриманого растрового зображення у значеннях індексу PVI території господарства з розбиттям на 2 класи — озимина та не озимина (всі інші культури).

Високий відсоток збігу місць розташування та площ (не менше, ніж 70%) ділянок посівів озимих культур, класифікованих за процедурою ISODATA, з наземними даними щодо сівозмін господарства свідчить про можливість застосовування розробленої методики для ефективного оперативного виявлення посівів озимих культур за супутниковими даними на основі ґрунтового-адаптивного перпендикулярного вегетаційний індексу в осінньо-зимовий період на регіональному рівні.

1. *Барталёв С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А.* Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // Компьютерная оптика. — 2011. — **35**, №1. — С.103–116.
2. *Плотников Д.Е., Барталёв С.А., Лупян Е.А.* Признаки распознавания пахотных земель на основе многолетних рядов данных спутникового спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов: Сб. науч. статей. — М: ООО «ДоМира», 2010. — **7**, № 1. — С.330–341.
3. *Плотников Д.Е., Барталёв С.А., Уваров И.А.* Метод выявления озимых культур по данным MODIS на основе итеративного алгоритма локально-адаптивной классификации с обучением. — М.: ИКИ РАН, 2009. — http://d33.infospace.ru/d33_conf/2009_conf_pdf/rastit/Plotnikov_Bartalev_Uvarov.pdf
4. *Украинский П.А., Землякова А.В.* Определение параметров почвенной линии для автоматизированного распознавания открытой поверхности почвы на космических снимках // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — №9. — С.140–144.
5. *Richardson A.J., Wiegand C.L.* Distinguishing vegetation from soil background information // Photogramm. Eng. Remote Sens. — 1977. — **43**. — P.1541–1552
6. *Кохан С.С., Востоков А.Б.* Дистанційне зондування Землі: Теоретичні основи. — К.: Вища школа, 2009. — 511 с.
7. *Чандра А.М., Гош С.К.* Дистанционное зондирование и географические информационные системы. — М: Техносфера, 2008. — 312 с.
8. *Kauth R.J., Thomas G.S.* The Tasselled Cap — A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT (1976). LARS Symposia. Paper 159. — P.4B41–4B51
9. Вегетационные индексы. <http://gis-lab.info/qa/vi.html>
10. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы // Геоматика. — 2011. — № 2. — С.98–102.
11. *Шовенгердт Р.А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. — М.: Техносфера, 2010. — 560 с.
12. *Kaufman Y.J., Remer L.A.* Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 1994. — **32**. — P.672–683.
13. LP DAAC. Land Processes Distributed Active Archive Center (https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table).
14. ERDAS Field Guide, Technical Documentation ERDAS INC. — Norcross, GA. — 2009. — 824 p.
15. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978. — 412 с.

Надійшла до редакції 18.09.2015

Прийнята до друку 19.10.2015