

**УКРАЇНА****(19) UA (11) 97374 (13) U**
(51) МПК (2015.01)**G01N 21/25 (2006.01)****G01N 21/35 (2014.01)****G01N 33/24 (2006.01)****G01V 8/00****G03B 37/00****ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ****(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: u 2014 10888	(72) Винахідник(и): Биндич Тетяна Юріївна (UA), Трускавецький Станіслав Романович (UA), Коляда Любов Петрівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 06.10.2014	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.03.2015	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ІНСТИТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА АГРОХІМІЇ ІМЕНІ О.Н. СОКОЛОВСЬКОГО", вул. Чайковська, 4, м. Харків-24, 61024 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.03.2015, Бюл.№ 5	(74) Представник: Горякіна Вікторія Миколаївна

(54) СПОСІБ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ АГРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**(57) Реферат:**

Спосіб дистанційного моніторингу агроєкологічних умов вирощування зернових культур, включає використання даних космічної багатозональної зйомки, високого просторового розрізнення, у видимій та ближній інфрачервоній частині спектра, відзнятих в умовах розвитку сільськогосподарських рослин. Здійснюють аналізування та класифікування їх космічного зображення за допомогою геоінформаційних систем, створення цифрових карт сполучень виділів ґрунтового покриву, які розрізняються за основними генетично обумовленими властивостями. Додатково проводять багатоспектральну космічну зйомку, високого просторового розрізнення, посівів кукурудзи на початкових стадіях їх розвитку. Розраховують систему вегетаційних індексів, створюють різницеві зображення картосхем їх просторового розподілу. Класифікують їх та уточнюють межі ділянок за характером підвищення ризику прояву стресу рослин кукурудзи, проводять наземні дослідження визначених ареалів. Відбирають рослинні зразки для уточнення взаємозв'язків якісного складу рослин з показниками основних агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів та визначають ґрунтові чинники різного рівня живлення кукурудзи як індикатора агрохімічного стану ґрунту та екстраполюють отримані результати аналізу на території, які мають подібні спектральні образи.

UA 97374 U

Корисна модель належить до галузі сільського господарства, а саме до ґрунтознавства, агрохімії та моніторингу ґрунтів та може бути застосовано для контролю за станом ґрунтового покриву, агроекологічних умов вирощування зернових культур, а також для оптимального планування агрохімічних заходів та меліоративних прийомів.

Відомо спосіб діагностики потреби сільськогосподарських рослин в елементах живлення з урахуванням їх фізіологічного стану, який включає листову діагностику рослин на потребу в мінеральних елементах живлення шляхом відбору проб листя, визначення відгуку рослини у вигляді різниці фотохімічної активності суспензії хлоропластів із середньої проби свіжого листя при додаванні в неї в певних концентраціях елемента, що діагностується, та їх співставлення з варіантом без додавання елемента живлення [Патент RU № 2511311 Спосіб діагностики потреби рослин в елементах живлення с учетом физиологического состояния растений]. За результатами застосування цього способу диференційовано встановлюється потреба в елементах живлення рослин та спосіб їх підкормки залежно від значення рівня активності хлоропластів, розрахованого як різниця значень оптичної щільності суспензії хлоропластів контрольної проби листя до та після його засвічування джерелом світла. При найвищому рівні активності хлоропластів (більше 70 одиниць) рослини рекомендуються обробляти комплексними добривами, що містять у своєму складі макро- й мікроелементи та хелатні коректори, а також проводити некореневу обробку рослин. Застосування способу забезпечує визначення потреби рослин в елементах живлення ще до прояву візуальних ознак їх стресу та втрати їх продуктивності.

Недоліком цього способу слід вважати той факт, що він потребує спеціального лабораторного технічного оснащення для спектрального аналізу рослинних проб, додаткової хімічної апаратури, реактивів та багато часу для проведення аналізу, що ускладнює одночасне аналізування великої партії зразків, а також не забезпечує визначення ділянок сільськогосподарських угідь, які характеризуються неоптимальними агрохімічними умовами для вирощування зернових культур (особливо на територіях поширення високопродуктивних чорноземних ґрунтів, які часто не забезпечують рослини достатньою кількістю рухомих форм поживних речовин), що в цілому ускладнює його широке використання в установах різних форм власності сільськогосподарського виробництва.

Також відомо спосіб прогнозування врожайності зернових культур на основі даних космічного моніторингу та моделювання біопродуктивності [Патент RU № 2379879 Спосіб прогнозування урожайности зерновых культур на основе данных космического мониторинга и моделирования биопродуктивности]. Згідно з цим способом для розрахунку параметрів рослинної культури модифікують блок вхідних даних щодо сонячної радіації в моделі біопродуктивності EPIC шляхом використання щоденних даних метеостанцій за основними метеорологічними характеристиками (максимальна і мінімальна температура повітря, кількість опадів, відносна вологість і швидкість вітру) та даних космічного сканування середньої просторової роздільності, за якими обчислюють нормалізований вегетаційний (NDVI) та листовий індекси (LAI). Потім здійснюють корекцію LAI за космічними знімками та даними наземних спостережень на певні дати розвитку рослин до досягнення листового індексу LAI максимального значення. За регресійним рівнянням розраховують параметри рослин: біомасу, листовий індекс, висоту рослин, вагу кореня та за цими параметрами біопродуктивності здійснюють моніторинг стану зернових культур в часі від моменту посіву до збирання врожаю. Спосіб дозволяє оцінювати врожайність та визначати терміни збору врожаю зернових культур.

Основним недоліком способу можна вважати значну залежність його виконання від додаткової інформації, джерела якої найчастіше є закордонними, комерціалізованими та не є відкритими для широкого кола вітчизняних споживачів, а також той факт, що цей спосіб засновано на використанні даних супутникової зйомки середнього просторового розрізнення для корегування проміжних результатів аналізу, що знижує рівень коректності результатів прогнозування врожайності зернових культур та моделювання їх біопродуктивності для об'єктів сільськогосподарського виробництва найнижчого територіального рівня - окремого господарства та/або окремого поля.

Найближчим аналогом є спосіб визначення ґрунтових комбінацій, який включає використання даних космічної багатозональної зйомки у видимій та ближній інфрачервоній частині спектра, високого просторового розрізнення, що відзняте в умовах розвитку сільськогосподарської рослинності, їх обробку за методами кластерного аналізу з використанням геоінформаційних систем, за якими одержують карту ґрунтових ареалів, що прив'язують до системи географічних координат та з використанням приладів глобального позиціонування проводять наземні польові дослідження, обробляють та аналізують проби ґрунту, що відібрано в центрі виділу та поблизу його границь з поверхневого шару ґрунту та

одержують картосхему ґрунтових ареалів, що визначені за подібною спектральною яскравістю сільськогосподарських рослин [Патент на корисну модель UA № 37208 Спосіб визначення ґрунтових комбінацій]. Цей спосіб здебільшого розширює функціональні можливості використання даних багатоспектрального сканування для дослідження ґрунтів та надає змогу ґрунтознавцям отримати нові просторові дані, які характеризують складність ґрунтового покриву.

Недоліком цього способу можна вважати той факт, що він не передбачає врахування додаткової інформації про фізіологічні особливості окремих сільськогосподарських культур під час їх вегетації, прояви візуальних ознак їх стресу для отримання та аналізу уточненої інформації про агрохімічний стан ґрунтів, що в цілому, не дозволяє здійснювати діагностику потреби сільськогосподарських рослин в окремих елементах живлення та підвищувати її оперативність.

Для вирішення широкого спектра прикладних завдань ґрунтознавства, агрохімії та раціонального землекористування виникає потреба в підвищенні детальності аналізу новітніх матеріалів дешифрування даних дистанційного зондування, за якими можна визначати зі значною просторовою точністю ділянки ґрунтового покриву, які характеризуються різними агроекологічними умовами та агрохімічними властивостями для вирощування основних сільськогосподарських культур та, зокрема зернових. Практичне значення такої деталізації дуже важливо для цілей дистанційного моніторингу сільськогосподарських угідь значних площ з вирощуванням зернових культур, в умовах відсутності додаткових інструментальних методів проведення наземних обстежень ґрунтів та рослин, що в цілому сприяє зниженню вартості, часу проведення та працеемкості польових робіт, а також підвищує достовірність та точність визначення ділянок земної поверхні, які відрізняються за параметрами основних агрохімічних показників ґрунту.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу дистанційного моніторингу агроекологічних умов вирощування зернових культур за рахунок розширення набору методів аналізу просторових даних, які відображають стан молодих рослин кукурудзи під час вирощування та, як наслідок, отримують підвищення інформативності даних космічної зйомки для діагностування та моніторингу орних ґрунтів.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі дистанційного моніторингу агроекологічних умов вирощування зернових культур, який включає використання даних космічної багатозональної зйомки, високого просторового розрізнення, у видимій та ближній інфрачервоній частинах спектра, відзнятих в умовах розвитку сільськогосподарських рослин, аналізування та класифікування їх космічного зображення за допомогою геоінформаційних систем, створення цифрових карт сполучень виділів ґрунтового покриву, які розрізняються за основними генетично обумовленими властивостями, згідно з корисною моделлю, додатково проводять багатоспектральну космічну зйомку, високого просторового розрізнення, посівів кукурудзи на початкових стадіях їх розвитку, розраховують систему вегетаційних індексів, створюють різниці зображення картосхем їх просторового розподілу, класифікують їх та уточнюють межі ділянок за характером підвищення ризику прояву стресу рослин кукурудзи, проводять наземні дослідження визначених ареалів, відбирають рослинні зразки для уточнення взаємозв'язків якісного складу рослин з показниками основних агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів та визначають ґрунтові чинники різного рівня живлення кукурудзи як індикатора агрохімічного стану ґрунту та екстраполюють отримані результати аналізу на території, які мають подібні спектральні образи.

Вказані відмітні ознаки дозволяють розширити функціональні можливості способу та за рахунок цього одержати нові просторові дані, які дозволяють більш точно визначати контури ділянок земної поверхні, які відрізняються за агроекологічними умовами вирощування кукурудзи, як основного індикатора агрохімічного стану ґрунтів, здійснювати просторовий аналіз їх взаємного розташування для обґрунтованого планування кількості та місцезнаходження точок відбору рослинних та ґрунтових проб, оптимізації системи наземного обстеження та моніторингу сільськогосподарських угідь, а також для корегування системи удобрення зернових культур.

Вирішення поставленої задачі засновано на тому, що площа листової поверхні є одним з найважливіших фітотетричних показників рослини. Кількість листів та їх розміри цілком залежать від умов проростання посівів, а також відіграють важливу роль у фотосинтетичній діяльності рослин. За даними фундаментальних наукових досліджень, листовий покрив є інтегральним показником ступеня забезпеченості посівів вологою, добривами, дотримання агротехнічних норм, а також об'єктивно характеризує стан рослини, тому широко використовується в багатьох моделях продукційного процесу [Выгодская Н.Н., Горшкова И.И.

Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с]. Обирання саме кукурудзи в якості основного індикатору агроекологічних умов вирощування зернових культур визначається тим, що на долю листів цієї сільськогосподарської культури приходить 87 % фітоплощі рослин, при цьому, з органічних речовин, які початково

5 формуються в листях, створюється до 95 % сухої маси [Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 344 с]. У зв'язку з цим, листова діагностика живлення рослин з використанням цієї сільськогосподарської культури за даними багатоспектрального космічного сканування є найбільш обґрунтованою для

10 дистанційного моніторингу сільськогосподарських угідь та їх забезпеченості необхідними елементами живлення.

Приклад здійснення способу.

Експериментальна перевірка запропонованого способу проведена за даними космічного зондування земної поверхні для полігону, що знаходиться поблизу від села Суха Балка, Ясинуватського району Донецької області (площею 100 га). Згідно з архівним матеріалом, на

15 території полігону за результатами великомасштабного обстеження визначено три ґрунтових виділи - чорнозем звичайний середньогумусний з відмінами за ступенем змитості та ґрунтотвірними породами.

Під час опрацювання способу використано різночасові космічні дані супутника Ландсат з роздільною здатністю до 28 м, що виконано 15 травня та 15 червня 2013 року, коли рослини кукурудзи перебували на початкових стадіях вегетації - сходів та 2-3 листи, фаза кушіння

20 відповідно.

Загально-статистичний аналіз цифрової інформації космічного зображення для даного територіального об'єкта здійснено за опрацюванням раніше алгоритмом [Бындыч Т.Ю. Использование данных дистанционного зондирования с целью изучения неоднородности почвенного покрова. - Ґрунтознавство. - 2006. - Т.7. - № 1-2. - С. 100-109] з метою обґрунтування критеріїв і принципів класифікації зображення, що дозволило перейти до якісної характеристики окремих елементів локальної структури ґрунтового покриву полігону. На цьому етапі було розраховано окремі загально-статистичні показники зображення для основних каналів сканування - другого, третього, четвертого та п'ятого каналів, які відповідають зеленому,

30 червоному, ближньому та середньому інфрачервоному діапазонам в інтервалі від 525 до 900 нм. На основі розгляду кривої розподілу оптичних яскравостей зроблено висновок про те, що оптимальний ступінь дискретизації зображення складає 3 класи, що відповідає найкращому, середньому та найгіршому рівню забезпечення ґрунтів основними елементами живлення рослин. З використанням геоінформаційної системи проведено числову таксономію космічного зображення полігону за методом К-середніх кластерного аналізу [Факторный, дискриминантний і кластерний аналіз. - М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с]. В результаті цього було отримано відредаговану картосхему ґрунтового покриву полігону (Фіг. 1), оскільки на

35 ранніх фазах розвитку посівів рослинність підкреслює особливості структури ґрунтового покриву зі значною детальністю. Космічне зображення молодих рослин кукурудзи в фазі 2-3 листів дозволило оконтурити виділи ґрунту за різними рівнями водозабезпечення та агрохімічного фону, які представлено на Фіг. 1, що за даними великомасштабного картографування відповідає виділам чорнозему звичайного середньогумусного, важкосуглинкового слабкозмитого (ареал 3) та середньозмитому (ареал 2) на лісоподібних породах, а також чорнозему середньосуглинкового слабкозмитому на рихлих піщаних породах (ареал 1).

Під час дешифрування травневого знімка полігону проведено аналіз результатів перетворення вихідних спектральних даних, які дозволяють визначити вклад зеленої рослинності в формуванні спектрального образу полігону та мінімізувати вклад інших чинників в його формування. Аналіз здійснено за системою спектральних та вегетаційних індексів, зокрема, розраховуються значення спектральних коефіцієнтів NDVI, NDWI, MSI, GI, SAVI та SIPI

50 [Воинов О.А. Мониторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами. - К.: Ин-т телекоммуникаций и глоб. информ. пространства, 2005. – 295 с]. Аналогічно проводимо обробку космічного зображення полігону з посівами кукурудзи у фазі кушіння (червневий знімок). За результатами дешифрування цього знімка були створені та розглянуті різниці зображення посівів кукурудзи в кожному з діапазонів сканування, та розраховано різницю основних спектральних індексів (Фіг. 2). Інтерпретацію різницевого зображення засновано на тому, що ділянки території, на яких зміни були мінімальними, характеризуються найнижчими значеннями яскравості (більш темний колір у відтінках сірого), в той час коли ділянки з суттєвими змінами рослин стають більш помітними та характеризуються найвищими значеннями оптичної яскравості (світліший відтінок). В цілому ж, класифікація різночасових зображень посівів

60 кукурудзи, що була проведена на цьому етапі, дозволила деталізувати відредаговану

картосхему ґрунтового покриття полігону (Фіг. 1) та визначити ділянки поверхні полігону, які відрізняються одна від одної за ступенем змін оптичного образу посівів кукурудзи (Фіг. 3). Використання саме цього варіанта карти спростило визначення оптимальної системи відбору рослинних та ґрунтових проб для польового етапу робіт.

- 5 Уточнення якісного складу рослин в межах полігону проведено на основі рослинних зразків, які відібрано за регулярною мережею відбору, з використанням приладів GPS на початку фази трубкування рослин (15 липня), коли зазвичай спостерігається найвища пігментація листів. У зв'язку з цим, проведено також листову діагностику живлення рослин з використанням приладу N-tester. Під час польових спостережень слід проводити відбір проб ґрунту на кожному з
- 10 визначених ареалів, які відрізняються за оптичною яскравістю посівів кукурудзи в кількості, що дозволяє проводити статистичний аналіз даних. Під час лабораторних досліджень у зразках листів визначено вміст хлорофілу, N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, вологість, білок, жири, протеїни, клітковина, золу, цукру за загальною відомими методами [Методи аналізів ґрунтів і рослин: Методичний посібник / Під ред. Булигіна С.Ю., Балюка С.А., Міхновської А.Д. та Розумної Р.А. -
- 15 Книга 1. - Харків, 1999. – 158 с].

- Для перевірки запропонованого підходу проведено співставлення середніх значень спектральних коефіцієнтів посівів кукурудзи, що розраховано за даними космічного сканування, середніх значень основних показників ґрунтів та показників якісного складу листів кукурудзи для кожного з ґрунтових ареалів, які представлено в Таблиці 1. Співставлення дозволило
- 20 визначити, що значення спектральних індексів диференційовано за ґрунтовими виділами, які відрізняються за основними агрохімічними показниками - гумусом, вмістом обмінного калію, рухомого фосфору та характеризуються різними значеннями інтегральної агрохімічної оцінки. Наприклад, показники якісного складу листів кукурудзи у фазі трубкування були вищими для
- 25 ареалу чорнозему звичайного середньогумусного, важкосуглинкового слабкозмитого на лесі, для якого показник агрохімічної оцінки є найвищим та складає 52,5 бала. Різницеви NDVI кукурудзи для цього ареалу мав найнижче значення, що слід розглядати як свідчення про те, що за цей час молоді рослини кукурудзи не відчували стресу внаслідок нестачі елементів живлення та вологи, які найчастіше викликають зниження пігментації листів та їх недостатній розвиток.
- Однак більш показовою та інформативною відміною між виділами виявилися кількісні значення
- 30 пігментного індексу SIPI, який має найнижчі значення для виділу чорнозему середньосуглинкового слабкозмитого на рихлих піщаних породах (ареал 1). Цей показник на відміну від різницевого NDVI виявив початковий стан фізіологічного стресу для високопродуктивного ґрунту (ареал 3), чинником якого можуть виступати як автоморфні умови його розташування, так й порівняно низький вміст рухомих форм поживних речовин, наприклад
- 35 фосфору та окремих мікроелементів.

Проведений аналіз виявився ефективним для визначення та аналізу просторових особливостей агроекологічних умов вирощування кукурудзи на дослідному полігоні.

Таблиця 1

№ п/п	Назва показнику	ґрунтові виділи		
		Ареал 1	Ареал 2	Ареал 3
1	2	3	4	5
Основні агрохімічні показники ґрунтів				
1.	Загальний вміст гумусу, в %	3,38	3,75	4,00
2.	Вміст азоту, що легко гідролізується, в мг/кг ґрунту	99,00	117,00	121,00
3.	Вміст обмінного калію, в мг/кг ґрунту	145,00	173,00	184,00
4.	Вміст рухомого фосфору, в мг/кг ґрунту	83,00	110,00	108,00
5.	Вміст цинку, в мг/кг ґрунту	0,80	0,73	0,75
6.	Вміст марганцю, в мг/кг ґрунту	108,00	112,30	107,10
7.	pH водний	7,60	7,90	7,90
8.	Агрохімічна оцінка, в балах	46,67	40,10	52,50
Спектральні характеристики посівів кукурудзи				
9.	NDVI (травень)	0,13	0,14	0,14
10.	NDWI (травень)	-0,07	-0,08	-0,06
11.	SIPI (червень)	7,27	10,07	11,07
12.	Різницеви NDVI	0,12	0,07	0,06

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Показники якісного складу листів кукурудзи у фазі трубкування				
13.	Вміст хлорофілу	12,43	11,54	16,07
14.	Вміст цукру, в %	1,76	1,76	2,02
15.	Волога листя, в %	3,55	4,66	6,08
16.	Вміст жирів, в %	1,05	1,04	1,35

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє значно розширити сферу практичного застосування даних багатоспектрального сканування для цілей діагностики та моніторингу 5 ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення за рахунок детального розгляду та врахування фізіологічних особливостей сільськогосподарської рослинності під час дешифрування її космічного зображення та відкриває можливості для використання системи спектральних індексів як експрес-методу визначення та аналізу елементів ґрунтового покриву, які відрізняються за агрохімічним потенціалом.

Отримані результати та картосхеми можна рекомендувати для фахівців агрохімічної служби 10 та агрономів для обліку та прогнозу врожайності сільськогосподарських культур, прийняття обґрунтованих рішень щодо корегування системи агрохімічних прийомів (норми внесення добрив та підкормок, їх хімічні форми, сполучення тощо) для окремих полів або ділянок, обґрунтованого планування кількості та місцезнаходження точок відбору рослинницьких та 15 ґрунтових зразків для агрохімічного обстеження територій.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб дистанційного моніторингу агроєкологічних умов вирощування зернових культур, що 20 включає використання даних космічної багатозональної зйомки, високого просторового розрізнення, у видимій та ближній інфрачервоній частині спектра, відзнятих в умовах розвитку сільськогосподарських рослин, аналізування та класифікування їх космічного зображення за допомогою геоінформаційних систем, створення цифрових карт сполучень виділів ґрунтового покриву, які розрізняються за основними генетично обумовленими властивостями, який 25 **відрізняється** тим, що додатково проводять багатоспектральну космічну зйомку, високого просторового розрізнення, посівів кукурудзи на початкових стадіях їх розвитку, розраховують систему вегетаційних індексів, створюють різницеві зображення картосхем їх просторового розподілу, класифікують їх та уточнюють межі ділянок за характером підвищення ризику прояву стресу рослин кукурудзи, проводять наземні дослідження визначених ареалів, відбирають 30 рослинні зразки для уточнення взаємозв'язків якісного складу рослин з показниками основних агрохімічних та фізико-хімічних властивостей ґрунтів та визначають ґрунтові чинники різного рівня живлення кукурудзи як індикатора агрохімічного стану ґрунту та екстраполюють отримані результати аналізу на території, які мають подібні спектральні образи.

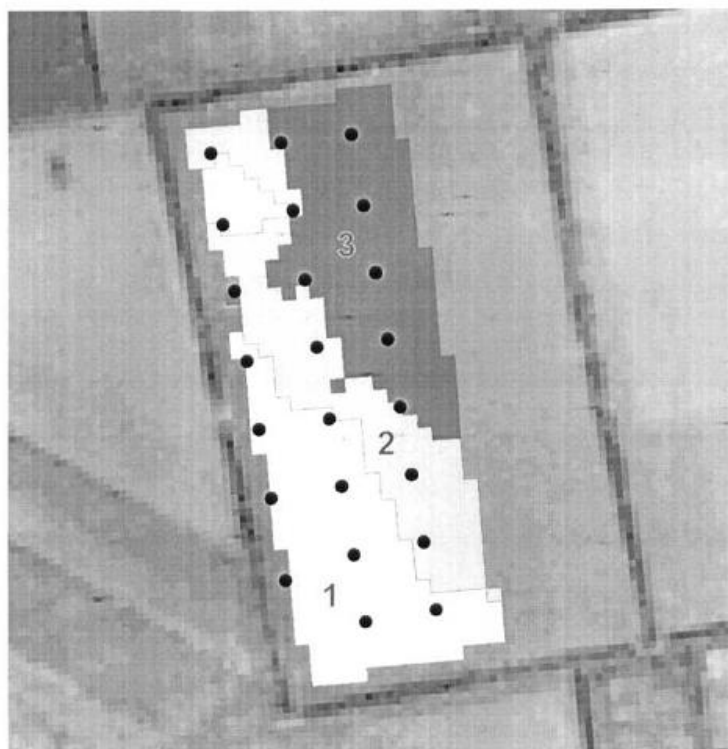


Fig. 1

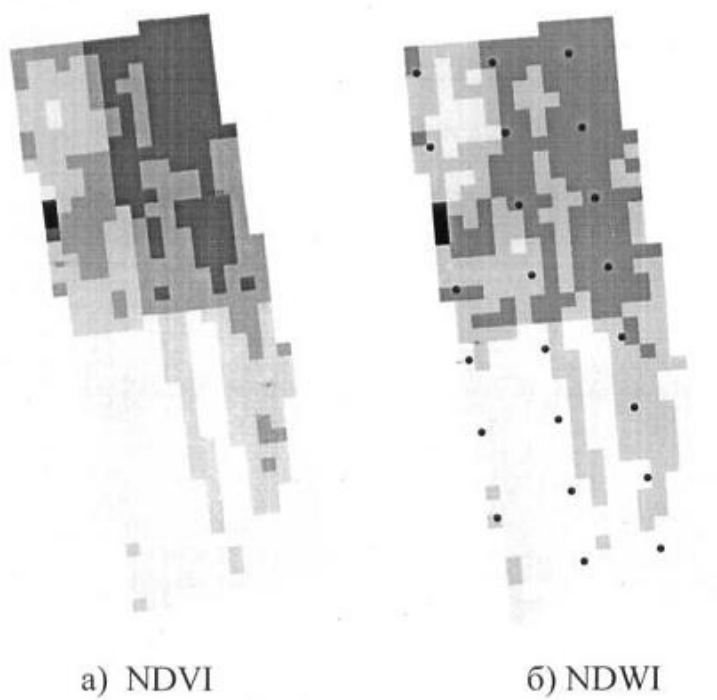


Fig. 2

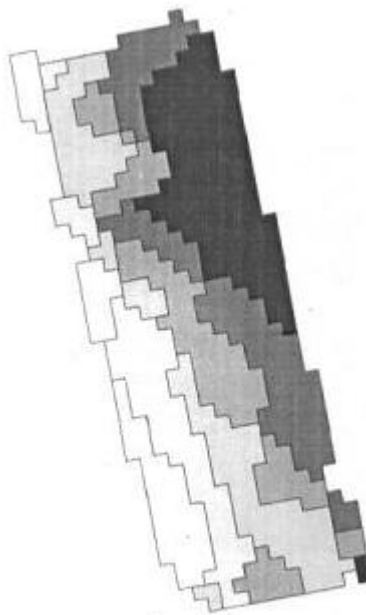


Fig. 3

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601