



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 54849

(13) C2

(51) МПК (2006)

G01N 21/64

G01J 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ДОСЛІДЖЕННЯ РОСЛИННИХ ОБ'ЄКТІВ

1

(21) 2002043478

(22) 25.04.2002

(24) 17.04.2006

(46) 17.04.2006, Бюл. № 4, 2006 р.

(72) Федак Володимир Семенович, Клочан Петро Степанович, Мовчан Ярослав Іванович, Масловський Вячеслав Якович

(73) ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М. ГЛУШКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1768071, 15.10.1992

SU 1276963, 15.12.1986

US 4745276, 17.05.1988

(57) (21) 2002043478

(57) 1. Спосіб дистанційного дослідження рослинних об'єктів, що включає імпульсне опромінювання об'єкта лазером, прийом та реєстрацію сигналів флюоресценції синхронно з опроміненням в напрямку, зворотному до опромінювання, який **відрізняється** тим, що прийнятий поточний сигнал флюоресценції порівнюють з попереднім і приймають за опорний більший за величиною

2

сигнал з наступною заміною опорного сигналу на поточний сигнал флюоресценції в разі перевищення ним величини опорного сигналу, а в разі зменшення поточного сигналу, опорний сигнал зменшують потактно на величину Δ до того часу, доки поточне значення сигналу флюоресценції не перевищить опорний сигнал, здійснюють підрахунок імпульсів опромінення та сигналів флюоресценції, рівних не менше ніж половині опорного сигналу, і за відношенням кількості цих сигналів до кількості імпульсів опромінення визначають проективне покриття рослинних об'єктів.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що величину Δ визначають з виразу $\Delta = 2LU_0/Dn$ для міжрядь сільгоспкультур та $\Delta = 5U_0/n$ - для природної рослинності, де U_0 - опорний сигнал, L - величина міжрядь, D - діаметр плями освітлення, n - число подій флюоресценції при 100 тактах опромінення.

Винахід належить до області сільського та лісового господарства, зокрема визначення проективного покриття дистанційними методами, і може бути використаний в системах екологічного моніторингу для дистанційного оцінювання стану рослин в мету оптимізації термінів та обсягів необхідних міроприємств для поліпшення цього стану. Дистанційні дослідження, зондування та діагностика рослинних об'єктів, рослин, рослинності, рослинного покриву тощо, полягають у визначенні властивостей і стану цих об'єктів шляхом аналізу оптичних або електромагнітних сигналів, які відбиті від поверхні. Властивості і стан рослинних об'єктів визначають за характеристичними спектрами випромінювання, відбиття чи флюоресценції та інтенсивностями прийнятих сигналів на вибраних довжинах хвиль. В більшості дистанційних досліджень рослинних об'єктів використовують порівняння визначень на контрольованих площах з вимірюваннями на полігонах з визначеними або контрольованими характеристиками рослинності

та екологічних умов. Вимірювання над полігонами використовують як зразкові для всієї контрольованої площі, при умові подібності площ за показниками: ідентичності рослинності (видової, вікової, фази розвитку, фізіологічного стану і т. і.н), ідентичності екологічних умов (метеорологічних, актинометричних, ґрунтових, рельєфних, добових тощо), однакових метрологічних характеристиках технічних засобів та розмірів плям опромінення. Забезпечення зазначених умов подібності контрольованої площі і зразкової ділянки при визначенні зразкового сигналу складно і проблематично, а це вносить суттєву недостовірність у дистанційних визначеннях, взагалі та проективного покриття, зокрема. Під проективним покриттям рослинних об'єктів розуміють відношення площі вертикальної проекції фітоелементів рослин на ґрунт до досліджуваної площі, виражене у відсотках. За досліджувану приймають площу з якою співвідносять результати визначень. У випадках активного зондування це площа поверхні (плями.) S_1 , освітленої

(13) C2

(11) 54849

(19) UA

лазером в одному такті опромінення (одиниця площа) помножена на кількість тактів опромінення N.

Проективне покриття визначають з виразу

$$\Pi_p = \frac{\sum_{k=1}^n S_k}{NS_1},$$

де S_k - площа проекції фітоелементів на ґрунт в межах одиничної площі;

n - кількість плям освітлення заповнених фітоелементами за N тактів опромінення.

За контрольовану площу приймають ділянку земної поверхні на якій здійснюють дистанційні визначення, наприклад, окреме поле або угіддя господарства. В залежності від способу виявлення (профільний, галсовий, панорамний) контрольовану площу представляють різними досліджуваними (представницькими) ділянками, наприклад, пікселями різної площі на космічних знімках. Проективне покриття корелює з багатьма показниками будови рослинного покриву, зокрема з зеленою масою, площею листяної поверхні, густотою посіву, фазою розвитку, зімкненістю посіву, тощо. Визначення зазначених показників на різних фазах розвитку сільгоспкультур дозволяє прогнозувати урожай та впливати на нього.

Необхідною складовою дистанційних досліджень рослинних об'єктів є ідентифікація рослин на фоні ґрунту. Відомі способи, за якими здійснюють цю ідентифікацію: за різницею радіаційних температур в інфрачервоній області, за спектральною яскравістю відбитого сонячного світла в зеленій, червоній та інфрачервоній областях, за сигналами наведеної флюоресценції хлорофілу.

Відомий "Способ дистанционного исследования растительных объектов и устройство для его осуществления" [авт. свід. №1460625, бюл. №7, 23.02.89г.], в якому кількість горизонтів переважного розташування фітоелементів рослинного об'єкта визначають шляхом опромінення об'єкта променем лазера, приймання відбитого від об'єкта випромінювання під кутом до кута лазера, роздільному підрахунку зображень з однаковим числом подрібнень плями лазерного променя на фітоелементах різних горизонтів об'єкта.

Спільними рисами аналогу та запропонованого способу є опромінення рослинного об'єкта променем лазера, приймання випромінювання об'єкта та перетворення його в електричний сигнал. Причиною, що заважає досягненню поставленої мети є те, що способи, які використовують приймання відбитого сигналу під кутом до опромінення принципово не дозволяють визначати проективне покриття низькорослої та сланкої рослинності, надійно виділяти її на фоні ґрунту та здійснювати визначення з великих висот. Під фізіологічним станом рослинних об'єктів розуміють обмін речовин, який проявляється у продуктивності, інтенсивності фотосинтезу, дихання, транспірації, теплових, водних та солевих стресах, стресах від забруднень середовища, заражень, хвороб, шкідників та паразитів рослин.

Відомий "Способ определения продуктивности биологических культур", [авт. свід. №1241113, бюл. №24.], 30.06.86г. в якому продуктивність ба-

вовника визначають шляхом дистанційного збудження люмінесценції та вимірювання сигналів, які приймають від об'єкту на зміщеній частоті, усунення впливу поглинання та розсіювання випромінювання в атмосфері послідовним стробуванням сигналів спонтанного комбінаційного розсіювання азоту з горизонту не більше 10м від поверхні землі, люмінесценції хлорофілу зеленої маси та волокна бавовника. з наступним нормуванням сигналів люмінесценції на сигнал комбінаційного розсіювання азоту та визначають кількість бавовняного волокна за формулою $C=K1A$

$$\text{де } A = \frac{I_{\lambda 1}}{I_{kr}} - K2 \frac{I_{\lambda 2}}{I_{kr}},$$

C - середня кількість бавовняного волокна;

$K1, K2$ - постійні коефіцієнти;

$I_{\lambda 1}, I_{\lambda 2}$ - інтенсивності сигналів люмінесценції бавовняного волокна та зеленої маси відповідно;

I_{kr} - інтенсивність сигналу комбінаційного розсіювання азоту.

Спільними рисами аналогу та запропонованого способу є дистанційне збудження люмінесценції хлорофілу шляхом опромінення об'єкта лазером та вимірювання відлуння-сигналів люмінесценції на зміщеній частоті.

Причиною, яка заважає вирішенню поставленої задачі є те, що аналог не дозволяє визначати проективне покриття, а тільки усуває вплив розсіювання та поглинання випромінювання атмосферою.

Із аналогів дистанційних визначень будови та фізіологічного стану рослинних об'єктів найближчим до запропонованого за технічною суттю в "Способ дистанционного определения физиологического состояния растений", [авт. свід. №1768071, бул. №38 от 15.10.92.]. Спосіб - прототип включає збудження лазерним опроміненням флюоресценції рослин, реєстрацію інтенсивності флюоресценції у спектральних інтервалах 440-540нм та 630-730нм, а індикацію ураженості рослин мучнистою россою, тобто визначення стану рослин, здійснюють за відношенням;

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta'}$$

де β - відношення інтенсивностей, яке вимірюють;

β' - відношення інтенсивностей для здорових рослин.

Спільними рисами прототипу та запропонованого способу є збудження лазерним опроміненням флюоресценції рослин та реєстрація інтенсивності флюоресценції.

Причиною, яка заважає досягненню поставленої мети є те, що прототип є індикаторним способом і не дозволяє визначати проективне покриття.

Принциповою обмеженістю розглянутих способів дистанційного зондування рослинних об'єктів є необхідність використання зразкових сигналів, які визначають на лабораторних рослинах або на зразкових чи-модельних ділянках, полях та полігонах а потім використовують для порівняльних, кількісних визначень контрольованих показників.

В основу винаходу поставлене завдання створення такого способу дослідження рослинних об'єктів, в якому завдяки введенню нових операцій

стало б можливим визначення проективного покриття та збільшення достовірності визначень без застосування вимірювань зразкових сигналів на еталонних ділянках, тобто без наземного забезпечення.

Вирішення поставленої задачі досягається тим, що спосіб включає операції імпульсного опромінення об'єкта лазером, прийом та реєстрацію сигналів наведеної флюоресценції синхронно з опроміненням в напрямку зворотному до освітлення, порівняння поточного сигналу флюоресценції з попереднім і прийняття в якості опорного більшого за величиною сигналу, з наступною заміною опорного сигналу на поточний сигнал флюоресценції, в разі перевищення ним величини опорного сигналу, причому в кожному наступному такті визначення у випадку зменшення поточного сигналу, опорний сигнал зменшить на величину Δ до тих пір, доки поточне значення сигналу флюоресценції не перевищить опорний сигнал, здійснюють підрахунок імпульсів опромінення та сигналів флюоресценції рівних не менше половини опорного сигналу і за відношенням кількості цих сигналів до кількості імпульсів опромінення визначають проективне покриття рослинних об'єктів. Крім того, величину Δ визначають з виразу $\Delta = 2LU_0/Dn$ для міжрядь сільгоспкультур та $\Delta = 5U_0/n$ для природної рослинності, де U_0 - опорний сигнал; L - величина міжрядь; D - діаметр плями освітлення; n - число подій флюоресценції при 100 тактах опромінення. Введення у спосіб дистанційних досліджень рослинних об'єктів операцій порівняння поточного сигналу флюоресценції з попереднім і прийняття в якості опорного більшого за величиною сигналу з наступною заміною опорного сигналу на поточний сигнал флюоресценції, в разі перевищення ним величини опорного сигналу, а у випадку зменшення поточного сигналу, також зменшення опорного сигналу потактно на величину Δ до тих пір, доки поточне значення сигналу флюоресценції не перевищить опорний сигнал, здійснення підрахунку імпульсів опромінення та сигналів флюоресценції рівних не менше половини опорного сигналу дозволяє визначати проективне покриття, як відношення кількості подій флюоресценції до кількості тактів опромінення, збільшити достовірність вимірювань без використання еталонних ділянок для визначення зразкових сигналів флюоресценції. Визначення Δ з виразу $\Delta = 2LU_0/Dn$ для міжрядь сільгоспкультур та $\Delta = 5U_0/n$ для природної рослинності:

де U_0 - опорний сигнал; L - величина міжрядь;
 D - діаметр плями освітлення;

n - число подій флюоресценції при 100 тактах опромінення дозволяє адаптувати опорний сигнал до зменшень зразкового сигналу.

На Фіг. показано варіанти заповнення фітоелементами плям освітлення (2, 3) при імпульсному опроміненні (4) рослинних об'єктів (1) лазером, поточні сигнали флюоресценції (5), опорний сигнал та його половина (6), поточні сигнали флюоресценції, округлені до опорного сигналу (7).

Спосіб включає імпульсне опромінення рослинних об'єктів лазером, приймання і реєстрацію сигналів наведеної флюоресценції синхронно з сигналом опромінення в напрямку зворотному до

освітлення, вибір опорного сигналу, адаптацію його до змін зразкового, округлення сигналів флюоресценції та накопичення числа подій флюоресценції і тактів опромінення. Проективне покриття визначають з виразу;

$$Пп = \frac{100 \sum_{i=1}^n U_k}{NU_1},$$

де U_k - поточний сигнал флюоресценції з освітленої плями;

n - число зафіксованих подій флюоресценції;

U_1 - зразковий сигнал флюоресценції з одиничної площі зразкової ділянки при 100% проективному покритті;

N - число тактів опромінення.

В залежності від відстані до об'єкта та характеристик лазера, плями освітлення можуть мати різну одиничну площу, а в залежності від проективного покриття має місце різне заповнення освітлених плям фітоелементами (Фіг.2-3). У випадку 1 (Фіг.2-3) проективне покриття $Пп > 100\%$ і освітлена пляма повністю заповнена фітоелементами, у випадку 2 проективне покриття $Пп > 50\%$ і освітлена пляма заповнена фітоелементами більше ніж наполовину. У випадку 3 проективне покриття $Пп < 50\%$ і освітлена пляма заповнена фітоелементами менше ніж наполовину. У випадку 1 проективне покриття $Пп = 0$ і фітоелементи в межах освітленої плями відсутні.

Опромінення рослинних об'єктів ультрафіолетовим лазером збуджує флюоресценцію рослинних пігментів, зокрема хлорофілу, в межах освітленої плями. Реєстрація сигналів наведеної флюоресценції дозволяє надійно ідентифікувати рослини на фоні ґрунту. Опромінення в надір і реєстрація сигналів флюоресценції у зворотному напрямку дозволяє визначити площу саме вертикальної проекції рослин на ґрунт. Імпульсне опромінення і реєстрація сигналів флюоресценції синхронно з опроміненням дозволяє виділити сигнал саме наведеної флюоресценції і саме з освітленої плями.

Сигнал наведеної лазером флюоресценції пропорційний площі фітоелементів в межах плями освітлення і залежить від багатьох дестабілізуючих чинників; структури та фізіологічного стану рослинних об'єктів, екологічних умов., характеристик технічних засобів тощо.

Сигнал флюоресценції фітоелементів з одиничної площі при 100% проективному покритті буде максимальним, як на зразкових ділянках, так і на контрольованих площах. Так як в якості зразкового вибирають сигнал з одиничної площі еталонної ділянки про 100% проективному покритті, то максимальний з поточних сигналів на контрольованій площі приймають в якості опорного наближено-зразкового сигналу, і порівнюють з ним поточні сигнали при округленні. Тоді зазначені вище дестабілізуючі чинники будуть впливати тільки на величину опорного сигналу і не впливатимуть на відношення опорного і поточного сигналів, бо умови вимірювань однакові. Зміни зразкового сигналу необхідно відслідковувати як в сторону збільшення, так і в сторону зменшення. При збільшенні зразкового сигналу (більший в поточних) опорний сиг-

нал збільшують до величини поточного, якщо останній перевищує опорний. При зменшенні зразкового сигналу опорний сигнал зменшують потактно на величину Δ доти, доки поточний сигнал не перевищить опорний, але не більше 10 тактів, після чого опорний сигнал залишають незмінним до наступного підвищення поточного сигналу. За 10 тактів опорний сигнал зменшиться наполовину. Величину Δ для значень проективного покриття $<50\%$, зокрема для міжрядь сільгоспкультур, вибирають з виразу:

$$\Delta = \frac{L}{Dn} \cdot \frac{U_0}{2} = \frac{2L}{Dn} U_0,$$

де L - величина міжрядь;

D - діаметр освітленої плями;

n - число зафіксованих подій флюоресценції при 100 тактах опромінення.

Для природної рослинності, тобто при проективному покритті $\Pi > 50\%$, Δ вибирають з виразу:

$$\Delta = \frac{10}{n} \cdot \frac{U_0}{2} = \frac{5}{n} U_0.$$

Величину n визначають після кожних 100 тактів опромінення, а величину Δ визначають і вносять після кожного такту опромінення при зменшенні поточного сигналу флюоресценції. Таким чином опорний сигнал адаптують до змін зразкового сигналу, викликаних дестабілізуючими чинниками.

Поточні сигнали флюоресценції округлюють до величини опорного сигналу. Округлення здійснюють шляхом порівняння поточного сигналу з половиною опорного. У випадках 3,4 (фіг.2-3) поточний сигнал флюоресценції фіг.5 не перевищує половини опорного і його не фіксують як подію флюоресценції. У випадках 1,2 поточний сигнал флюоресценції більший від половини опорного, і це фіксують як подію флюоресценції, як 100% заповнення освітленої плями фітоелементами, тобто $U_k = U_0$, (Фіг.7). Одночасно підраховують такти опромінення та події флюоресценції. Якщо при цьому з N тактів опромінення буде зафіксовано n

випадків флюоресценції, то проективне покриття визначають як

$$\Pi = \frac{\sum_{k=1}^n U_k}{NU_0} 100 = \frac{nU_k}{NU_0} 100 = \frac{n}{N} 100$$

Таким чином, проективне покриття визначають як відношення числа зафіксованих випадків флюоресценції до числа тактів опромінення помножене на 100. При 100 тактах опромінення проективне покриття визначають як число випадків флюоресценції.

Сумісне використання операцій округлення, вибору опорного сигналу та адаптації його до змін наближено-зразкового (максимального з поточних), дозволяє здійснювати кількісні дистанційні визначення проективного покриття без використання зразкових (еталонних) ділянок та збільшити достовірність цих визначень.

Приклад застосування:

При дослідженні сільгоспополя площею 600га (2 на 3км.) з літака АН-2, на швидкості 180км/год (50м/сек) та діаметрі плями освітлення 0.1м, який визначають як 0,2L, де $L=0,5M$ - величина міжрядь, частоті імпульсів опромінення 500гц, шлях 3,6км (діагональ поля) буде пройдено за 1,2хв. При цьому буде здійснено 36000 тактів опромінення з яких в кожних 100 тактах визначають кількість округлених, до максимального з поточних сигналів, подій флюоресценції, тобто здійснюють 360 визначень проективного покриття, рівних числу подій флюоресценції в межах кожних 100 тактів опромінення. На кожному кілометрі обстеження здійснюється 100 визначень проективного покриття, або за 1хв польоту здійснюється 300 визначень проективного покриття на кожних 10м земної поверхні.

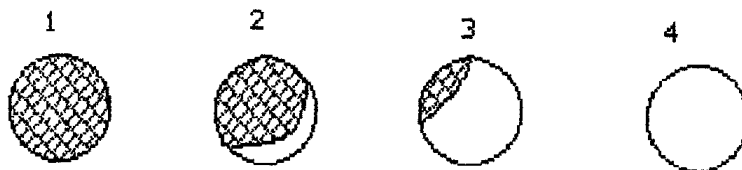
Запропонований спосіб, як видно з його опису, може бути реалізований у виробничих умовах, так як для його реалізації використовується технічна база широкого призначення.



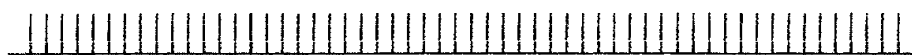
Фиг.1



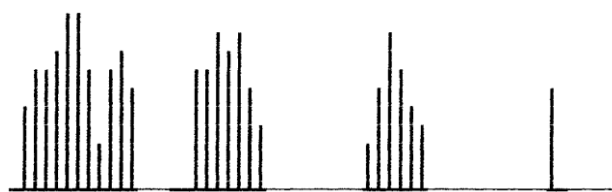
Фиг.2



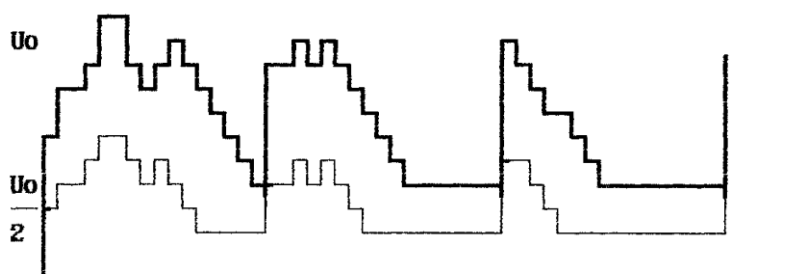
Фиг.3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7