



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A01G 23/00 (2024.01)

(21)(22) Заявка: 2023135944, 28.12.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.12.2023

Дата регистрации:
08.08.2024

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.12.2023

(45) Опубликовано: 08.08.2024 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

105005, Москва, вн. тер. г. Муниципальный
округ Басманный, 2-я Бауманская ул., 5, стр.
1, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Амелина Ксения
Евгеньевна

(72) Автор(ы):

Давыдов Вячеслав Федорович (RU),
Комаров Евгений Геннадиевич (RU),
Максимова Алина Николаевна (RU),
Чернышенко Оксана Васильевна (RU),
Фролова Вера Алексеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2277325 C1, 10.06.2006. RU
2155472 C1, 10.09.2000. RU 2416192 C2,
20.04.2011. RU 2428004 C1, 10.09.2011. SU
1719890 A1, 15.03.1992. US 20190045726 A1,
14.02.2019.

(54) Способ определения продуктивности насаждений

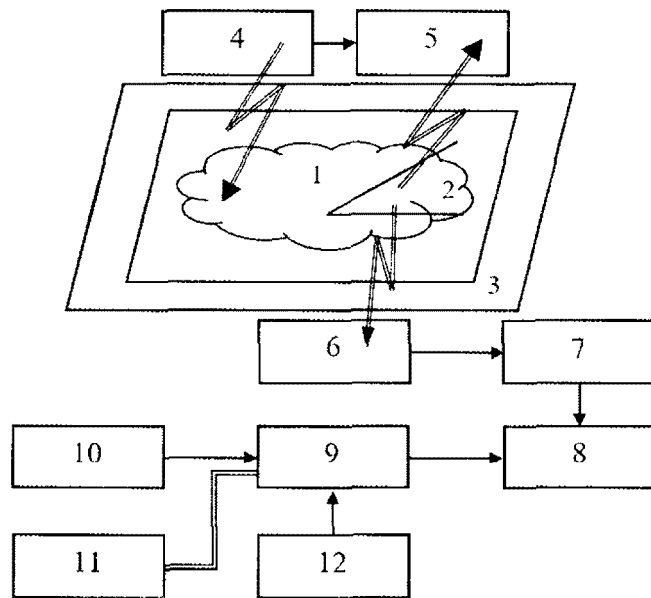
(57) Реферат:

Изобретение относится к лесному хозяйству и может быть использовано при мониторинге лесов аэрокосмическими средствами. Выполняют зондирование древесного полога с беспилотного летательного аппарата цифровой видеокамерой и спектрометром с привязкой измерений по координатам посредством глобальной позиционирующей системы «ГЛОНАСС», вычисление структурных характеристик древесного полога программной обработкой изображений: средней частоты $F_{ср}$ пространственного спектра; диаметра кроны $D_{ср}=1/F_{ср}$ модельного дерева участка; площади рельефа S_p древесного полога; полноты древостоя через отношение геометрической площади участка $S_{геометр}$ к площади рельефа S_p , измерение характеристик эффективности

преобразования светового потока в биомассу: цветности древесного полога по спектрограммам коэффициента спектральной яркости (КСЯ) с расчетом нормализованного дифференциального вегетационного индекса NDVI; наземные измерения посредством флуориметра коэффициента (К) поглощения падающего светового потока заготовками побегов крон, определение продуктивности [Р%] по измерениям на временном лаге в несколько лет ($\Delta T=T_2-T_1$) через отношение:

$$P[\%F_{од}] = \frac{D_{ср2}}{D_{ср1}} * \frac{S_{p1}}{S_{p2}} * \frac{NDVI_2}{NDVI_1} * \frac{K_2}{K_1} * \frac{1}{\Delta T}.$$

Повышается точность, оперативность и статистическая устойчивость оценки прироста запаса. 6 ил.



Фиг. 6



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
A01G 23/00 (2024.01)

(21)(22) Application: **2023135944, 28.12.2023**

(24) Effective date for property rights:
28.12.2023

Registration date:
08.08.2024

Priority:

(22) Date of filing: **28.12.2023**

(45) Date of publication: **08.08.2024** Bull. № 22

Mail address:

**105005, Moskva, vn. ter. g. Munitsipalnyj okrug
Basmannyj, 2-ya Baumanskaya ul., 5, str. 1, MGTU
im. N.E. Baumana, Amelina Kseniya Evgenevna**

(72) Inventor(s):

**Davydov Viacheslav Fedorovich (RU),
Komarov Evgenii Gennadievich (RU),
Maksimova Alina Nikolaevna (RU),
Chernyshenko Oksana Vasilevna (RU),
Frolova Vera Alekseevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Moskovskii gosudarstvennyi
tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyi issledovatel'skii universitet)»
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING PRODUCTIVITY OF PLANTATIONS**

(57) Abstract:

FIELD: forestry.

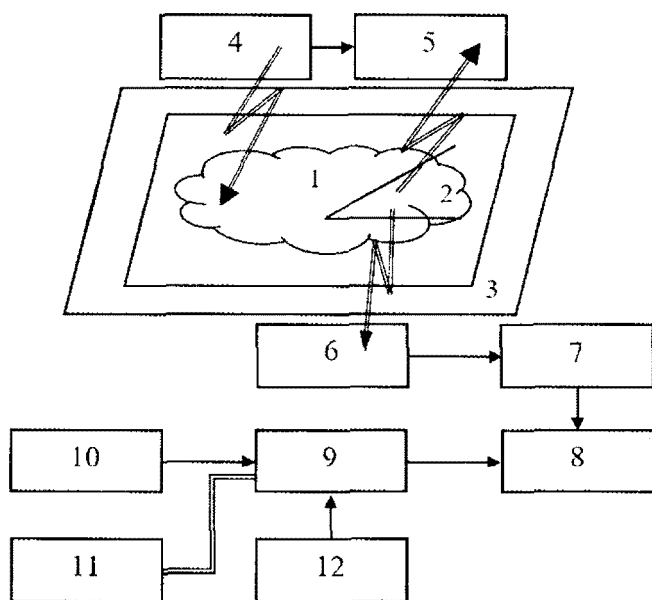
SUBSTANCE: invention relates to forestry and can be used in monitoring forests by aerospace equipment. Performing the tree canopy probing from the drone with a digital video camera and a spectrometer with measurements referenced by coordinates by means of the GLONASS global positioning system, calculation of structural characteristics of tree canopy by software image processing: average frequency F_{av} of spatial spectrum; crown diameter $D_{av}=1/F_{av}$ of the model tree of the site; relief area S_r of tree canopy; tree stand completeness through ratio of geometrical area of plot $S_{geometr}$ to relief area S_r , measurement of characteristics of efficiency of conversion of light flux into biomass:

colour of tree canopy according to spectrograms of spectral brightness coefficient (SBC) with calculation of normalized differential vegetation index NDVI; ground-based measurements by means of a fluorimeter of the coefficient (C) of absorption of the incident light flux by workpieces of shoots of crowns, determination of productivity [P%] from measurements on a time lag of several years ($\Delta T=T_2-T_1$) through the ratio:

$$P\left[\%F_{od}\right] = \frac{D_{av2}}{D_{av1}} * \frac{S_{r1}}{S_{r2}} * \frac{NDVI_2}{NDVI_1} * \frac{C_2}{C_1} * \frac{1}{\Delta T}.$$

EFFECT: higher accuracy, efficiency and statistical stability of estimating margin gain.

1 cl, 6 dwg



Фиг. 6

Область использования: лесное хозяйство, экологический мониторинг. Изобретение относится к лесному хозяйству и может быть использовано при мониторинге лесов аэрокосмическими средствами.

Показателем продуктивности лесов является бонитет. В России используют единую для страны бонитировочную шкалу классов бонитета [см. например, «Общесоюзные нормативы для таксации лесов» Справочник, стр.112, табл.32]. Классификационным признаком бонитировочной шкалы является средняя высота насаждений H [м] в соответствующем возрасте. Дробность отечественной шкалы составляет по высоте 4 м, по запасу V [м³/га] -20 %, в соответствии с чем выделены шесть классов бонитета. При этом все шесть классов продуктивности находятся в пропорции:

Класс	Ia	I	II	III	IV	V
Прирост в год м ³ /га	10,96	9,59	8,22	6,85	5,48	4,11

За период становления лесной науки разработано множество методов натурной таксации насаждений с измерением параметров: H (м) - высота дерева в м, $d_{1,3}$ - диаметр ствола на высоте 1,3 м, полнота (P) насаждения, N - количество деревьев в насаждении, диаметр кроны D (м) и др.

Получили развитие дистанционные методы мониторинга лесов путем получения изображения древесного полога и его программной обработки.

Аналогом для заявленного технического решения является «Способ оценки биомассы растительности» Патент RU 2155472, А 01. G, 23/00, 2000 г. В способе аналоге получают спектрзональное изображение подстилающей поверхности, последовательно преобразуют участки изображения в цифровые матрицы ($m \times n$) зависимости яркости $I(x, y)$ от пространственных координат, вычисляют числовые характеристики матриц, отличающийся тем, что осуществляют попиксельное совмещение матриц, элементы которых составлены из зональных отношений яркости $r_\lambda = 550 / r_\lambda = 610$ спектрального изображения и матриц радиолокационного изображения тех же участков, осуществляют векторизацию элементов и получают результирующие матрицы, дополнительно вычисляют автокорреляционные функции $B(0)$ результирующих матриц, а запас биомассы участков рассчитывают по регрессионной зависимости:

$$V = \alpha * \left[\frac{B(0)}{B_k(0)} \right]^\beta$$

где V - объем биомассы, т/га;

$B(0)$ - текущее значение в нуле автокорреляционной функции электрического сигнала результирующей матрицы участка;

α, β - коэффициенты регрессионной зависимости ($\alpha=100, \beta=2,2$);

$B_k(0)$ - значение в нуле автокорреляционной функции результирующей матрицы контрольного участка, $B_k(0) = 90$.

Недостатком аналога является использование при вычислении биомассы только внешних структурных параметров изображения древесного полога, в то время как продуктивность лесов существенно зависит от непосредственного поглощения лучистой энергии светового потока листьями, хвоей крон деревьев и превращения ее в биомассу.

Ближайшим аналогом является «Способ определения прироста запаса насаждений», Патент RU2277325, А. 01G, 23/00 - 2004 г. Способ ближайшего аналога включает получение изображений лесных массивов в виде зависимости яркости $I(x, y)$ от пространственных координат, преобразование функции яркости изображения в

цифровую матрицу дискретных отчетов размерностью (m x n) элементов, программный расчет пространственного спектра изображения анализируемой матрицы и определение прикрепляющей точки $D_{cp} = 1/F_{cp}$ огивы насаждения анализируемого участка, расчет запаса насаждений по числовым характеристикам анализируемой матрицы и массовым таблицам, отличающийся тем, что изображения лесных массивов, содержащих пробные площадки, осуществляют на временном лаге в несколько лет в одни и те же вегетационные периоды года, программным расчетом матрицы вычисляют площадь рельефа древесного полога S_p анализируемого участка, а прирост запаса насаждений P_M рассчитывают по формуле:

$$P_M[\%] = \frac{S_{p1} * F_{cp1}}{S_{p2} * F_{cp2}} - 1$$

где F_{cp1} , F_{cp2} - средняя частота пространственного спектра матриц изображений, полученных в начале и конце временного лага;

S_{cp1} , S_{cp2} - площади рельефа древесных пологів анализируемого участка в том же временном интервале;

D_{cp} - средний диаметр кроны древесного полога;

F_{cp} - средняя частота пространственного спектра матриц изображений.

К недостаткам ближайшего аналога следует отнести:

- использование в аналитическом выражении формулы изобретения только внешних структурных параметров древесного полога;

- не учитываются внутренние параметры фотосинтеза, влияющие на продуктивность как цветность крон и флуоресценцию хлорофилла (эффективность поглощения лучистой энергии побегами крон).

Чем больше параметров измеряется и учитывается в интегральном показателе продуктивности, тем устойчивее и точнее результат заявленного способа.

Задача, решаемая заявленным способом, состоит в повышении точности, оперативности и статистической устойчивости оценки прироста запаса путем дополнительного измерения внутренних параметров фотосинтеза - цветности древесного полога и коэффициента поглощения светового потока побегами крон. Поставленная задача решается тем, что способ определения продуктивности насаждений включает зондирование древесного полога с беспилотного летательного аппарата цифровой видеокамерой и спектрометром с привязкой измерений по координатам посредством глобальной позиционирующей системы «ГЛОНАСС», вычисление структурных характеристик древесного полога программной обработкой изображений: средней частоты F_{cp} пространственного спектра; диаметра кроны $D_{cp} = 1/F_{cp}$ модельного дерева участка; площади рельефа S_p древесного полога; полноты древостоя через отношение геометрической площади участка $S_{геометр}$ к площади рельефа S_p ; измерение характеристик эффективности преобразования светового потока в биомассу: цветности древесного полога по спектрограммам коэффициента спектральной яркости (КСЯ) с расчетом нормализованного дифференциального вегетационного индекса $NDVI$; наземные измерения посредством флуориметра коэффициента (K) поглощения падающего светового потока заготовками побегов крон, определение продуктивности $[P\%]$ по измерениям на временном лаге в несколько лет ($\Delta = T_2 - T_1$) через отношение:

$$P[\%F_{\text{од}}] = \frac{D_{\text{ср2}}}{D_{\text{ср1}}} * \frac{S_{\text{р1}}}{S_{\text{р2}}} * \frac{NDVI_2}{NDVI_1} * \frac{K_2}{K_1} * \frac{1}{\Delta T}$$

Изобретение подтверждается чертежами, где:

фиг. 1 - семейство *КСЯ* в зависимости от цветности древесного полога;

фиг. 2 - изменение объема продуцирующей фитомассы (*Φ*) в зависимости от NDVI;

фиг. 3 - серия полос переизлучения молекул вещества при квантовом взаимодействии со световым потоком;

фиг. 4 - спектр облучения а) и смещенный спектр отклика б) побегов крон деревьев;

фиг. 5 - функциональная схема дистанционного зондирования наблюдаемого участка;

фиг. 6 - наземная лабораторная установка измерения коэффициента поглощения светового потока побегами крон.

Техническая сущность способа состоит в следующем.

Дистанционный мониторинг лесных массивов состоит в получении цифровых изображений древесных пологот видеокамерой и измерении их коэффициентов спектральной яркости (*КСЯ*) спектрометром. Задача состоит в том, чтобы связать интегральные показатели матрицы изображения с таксационными параметрами древостоя. Известно, что распределение количества деревьев в насаждении по ступеням толщины не зависит ни от типа, ни от полноты, ни от бонитета, а характеризуются так называемой огигой насаждения [см., например Н.П. Анучин «Лесная таксация», учебник, 5-е издание. - М.: Лесная промышленность. - С. 271-273]. Прикрепляющая точка огиговы насаждения делит ступени толщины деревьев в насаждении в пропорции 60 % тонких ($d < \bar{d}$) и 40 % толстых ($d > \bar{d}$). Для статистической устойчивости результатов следует оперировать средними значениями показателей. Средний диаметр кроны $D_{\text{ср}} = 1/F_{\text{ср}}$ определяют вычислением средней частоты пространственного спектра изображения. Пространственный спектр Фурье матрицы $I(x, y)$ вычисляют стандартной процедурой специализированного программного обеспечения [см., Пакет программ для обработки изображений в науках о Земле, «ER MAPPER Reference», Earth Resource Mapping, Pty Lid, Western Australia, 6005, 1998. - Р. 295].

После определения прикрепляющей точки огиговы насаждения по массовым таблицам [см., Справочник «Общесоюзные нормативы для таксации лесов» - М. Из-во «Колос». - С. 29-338. Табл. 130-140. стр. 346.] определяют параметры модельного дерева (в частности, для способа ближайшего аналога расчетные параметры составили: $F_{\text{ср1}} = 0,28$; $F_{\text{ср2}} = 0,26$; $D_{\text{ср1}} = 3,5$ м; $D_{\text{ср2}} = 3,8$ м). По массовым таблицам определяют видовое число f , высоту h (м), ступени толщины ($d_{i,3}$). Для расчета запаса необходимо вычислить полноту насаждения.

По определению полноты древостоя характеризует степень использования им занимаемого пространства. Полноту участка определяют через отношение суммы площадей проекции крон $\frac{\pi * D_{\text{ср1}}^2}{4}$ к линейной площади таксируемого насаждения:

$$П = \frac{\pi * D_{\text{ср1}}^2}{4} * N_{\text{ср}} / S_{\text{геометр.площадь}} [\text{м}^2]$$

где, $N_{\text{ср}}$ - среднее количество деревьев на участке.

После преобразований [см., ближайший аналог] получено, что относительный прирост запаса выражается через интегральные характеристики матрицы изображения (участка, кадра изображения):

$$P_{\text{прирост}}[\%] = \frac{S_{p1} * F_{cp1}}{S_{p2} * F_{cp2}} - 1$$

При известном аналитическом выражении функции $I(x, y)$ площадь рельефа вычисляют как поверхностный интеграл от этой функции [см., Пискунов Н.С. Дифференциальные и интегральные исчисления для ВТУЗов, учебник, 5-е издание, т. 2. - М.: Наука, 1964. - С. 73-74]:

$$S_p = \iint_{00}^{mn} \sqrt{1 + \left(\frac{dI}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dI}{dy}\right)^2}$$

Поскольку сама функция $I(x, y)$ задана массивом дискретных отсчетов, необходимо иметь аналитическое выражение аппроксимирующей функции. Наибольшую точность вычислений обеспечивает аппроксимация функций бесконечным тригонометрическим рядом, коэффициенты разложения которого суть коэффициента Фурье. Расчет осуществлялся по специализированной авторской программе [см. ближайший аналог, описание заявки, стр. 7-8].

Расчетные параметры для способа аналога составили $S_{cp1} = 32,2$ га; $S_{cp2} = 26,3$ га. Прирост запаса 28 % на интервале 5 лет или 5,6 % в год.

Продуктивность насаждений определяется не только внешними структурными параметрами древесного полога, но и способностью вегетирующих органов (листьев, хвои) поглощать энергию светового потока.

В видимой области спектра кроны древесных пород имеют одну и ту же закономерность хода кривых $KСЯ$. Закономерность изменения $KСЯ$ древесных пород иллюстрируется графиками фиг. 1 [см., например, Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. - Йошкар-Ола: Из-во МарГТУ, 2005. - С. 21. - Рис. 2.8]. Количественной характеристикой цветности древесного полога служит крутизна наклона, так называемого нормализованного дифференциального вегетационного индекса NDVI:

$$NDVI = \frac{I_{500} - I_{670}}{I_{500} + I_{670}}$$

где I - коэффициент спектральной яркости [см., например, Жирин В.М. Приближенная оценка фитомассы лесного покрова с использованием вегетационного индекса// материалы второго Всероссийского совещания «Аэрокосмические методы и геоинформационные системы в лесоведении и лесном хозяйстве». - М.: МГУЛ, 1998. - С.112-122].

Количественная зависимость объема фитомассы (усл. ед.) древесного полога от значений NDVI иллюстрируется графиком фиг. 2.

Крутизна (производная) функции фитомассы через приращения (фиг. 2):

$$\Phi'(NDVI) = \frac{\Delta\Phi}{\Delta(NDVI)} = \frac{0,7}{0,4} = 1,75$$

Высокая производная свидетельствует о высокой чувствительности фактора цветности в общем показателе продуктивности насаждений. Следующим фактором продуктивности является показатель непосредственного поглощения светового потока фотосинтезирующими органами насаждения. Энергию поглощения определяют как разницу полной энергии потока минус энергию отражения:

$$W_{\text{пог}} = W_{\text{пол}} - W_{\text{отр}}$$

В отраженном спектре содержится вся информация о состоянии фотосинтетических органов исследуемых образцов: эффективность поглощения лучистой энергии, состояние фотосинтезирующих органов, минеральный состав питания и увлажненность почв. Подобная информация не может быть получена при визуальных наблюдениях или дистанционном зондировании.

Известны полосы переизлучения (Нельмана, Бальмера, Пашена) молекулами вещества при их взаимодействии с квантами солнечного света. Полосы переизлучения иллюстрируются фиг. 3. В результате взаимодействия наблюдается смещение спектра в длинноволновую область (красное смещение). Измеряя смещение, определяют эффективность поглощения лучистой энергии. На рисунке фиг. 4 представлены спектры падающего и отраженных потоков, измеренные флуориметром. Состав прибора флуориметра представлен в примере реализации. По определению [см., например, Заездный А.М. Основы расчетов по статистической радиотехнике. М.: Связь-издат., 1969. - С. 86-92.], энергию спектрального потока вычисляют из соотношения:

$$W(\lambda) = \sum_i \left(\frac{I(\lambda i)}{\lambda i} \right)^2$$

Разница энергий падающего и отраженного потоков, равна энергии поглощенного потока ΔW :

$$\Delta W = \sum_{\lambda=400}^{\lambda=600} \left(\frac{I\lambda i}{\lambda i} \right)^2 - \sum_{\lambda=400}^{\lambda=700} \left(\frac{I\lambda i}{\lambda i} \right)^2$$

Аналитическое выражение представляет собой разницу интегральных сумм. Геометрический смысл интеграла - площадь под кривой функции. На рис. 4 геометрические площади можно рассчитать численно. Коэффициент поглощения равен отношению разности площадей функций а) б). Применительно к графику фиг. 4 отношение (K) составило: $13/34 = 0,37$.

Пример реализации способа

Заявленный способ может быть реализован по схеме фиг. 5, фиг. 6. Комплект элементов дистанционного зондирования фиг. 5 включает беспилотный летательный аппарат (БПЛА) (1), внутри которого размещены измерительные приборы - цифровая видеокамера (2) типа Panasonic модель ДМС-TZ 18, Lumex с разрешением меньше 0,5 м ($1,4 \times 10^7$ пикселей в кадре), цифровой видеоспектрометр (3) типа «Кварц» с разрешением меньше или равно 3 нм, бортовой аппаратуры потребителей глобальной национальной системы ГЛОНАСС (4), подключенные к бортовому запоминающему устройству (5). После съемок и посадки БПЛА массив измерений скачивают в устройство хранения массивов измерений (6), наземного комплекса целевой обработки информации на базе персональной ЭВМ (7) типа «Intel» в составе устройства ввода информации (8), процессора (9), оперативного запоминающего устройства (10), винчестера (11), дисплея (12), принтера (13), клавиатуры (14), устройства вывода (15), сопряженного с сетью «Internet».

На базе перечисленных элементов схемы фиг. 5 реализуют расчет среднего диаметра кроны модельного дерева обрабатываемого участка D_{cp} и расчет средней площади рельефа древесного полога S_{cp} . Вторым независимым каналом измерений характеристик древесного полога при дистанционном зондировании с БПЛА, является спектрометр

(3). Диапазон измерения цветности древесного полога в зависимости от *КСЯ* иллюстрируется графиком фиг. 1, а объем продукционной фитомассы (Φ) в зависимости от значений нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (*NDVI*) иллюстрируется графиком фиг. 2. Диапазон измерений реальных значений *NDVI* находится в интервале $[0,15 \dots 0,5]$, а параметр объема продуцирующей фитомассы (Φ) в интервале $[1,2 \dots 1,6]$. Как отмечалось выше, измерения коэффициента поглощения светового потока побегами крон может быть реализовано только в наземных условиях на специализированной лабораторной установке по схеме фиг. 6.

Функциональная схема содержит зажимную светоизолирующую клипсу (1), внутри которой помещают испытываемый образец побега (2), размещаемую на поверхности рабочего стола (3). Облучение образца осуществляют через отверстие в клипсе, диаметром 4 мм, импульсным световым потоком с регулируемой интенсивностью, посредством генератора оптического излучения (4), собранного на светодиодах (светодиодная матрица), обеспечивающих равномерность освещения поверхности образца посредством рассеивающих линз.

Спектры падающего и отраженного потоков на образцах побегов фиксируются спектрометром (5). Сигнал флуоресценции воспринимается фотоприемником (6), квантуется аналогово-цифровым преобразователем (7) с изменяемой дискретизацией отсчетов (в интервале от единиц μs до десятков секунд) и накапливается в буфер-накопителе отсчетов (8) в виде массивов информации.

Обработку массивов измерений осуществляют посредством микропроцессора (9) на основе программ, записанных на жестком диске (10) (формат pdf). Результаты обработки отображают на жидкостно-кристаллическом дисплее (11). Управление микропроцессором осуществляют посредством буквенно-цифровой клавиатуры (12). Перечисленный широкий функционал операций реализован на базе существующей технической разработки в виде флуориметра (Fluorimeter Handy PEA+ (фирма Hansatech Instruments)). Способ реализован на существующих технических средствах.

Эффективность способа характеризуется высокой оперативной воспроизводимостью, статистической устойчивостью, поскольку в интегральных оценках учитывается каждое дерево, документальностью проведенных измерений в виде снимков с привязкой по координатам и времени, малой стоимостью и объемом работы.

(57) Формула изобретения

Способ определения продуктивности насаждений, включающий зондирование древесного полога с беспилотного летательного аппарата цифровой видеокамерой и спектрометром с привязкой измерений по координатам посредством глобальной позиционирующей системы «ГЛОНАСС», вычисление структурных характеристик древесного полога программной обработкой изображений: средней частоты F_{cp} пространственного спектра; диаметра кроны $D_{cp} = 1/F_{cp}$ модельного дерева участка; площади рельефа S_p древесного полога; полноты древостоя через отношение геометрической площади участка $S_{геометр}$ к площади рельефа S_p , измерение характеристик эффективности преобразования светового потока в биомассу: цветности древесного полога по спектрограммам коэффициента спектральной яркости (*КСЯ*) с расчетом нормализованного дифференциального вегетационного индекса *NDVI*; наземные измерения посредством флуориметра коэффициента (*K*) поглощения падающего светового потока заготовками побегов крон, определение продуктивности [*P%*] по измерениям на временном лаге в несколько лет ($\Delta T = T_2 - T_1$) через отношение:

$$P[\%F_{\text{од}}] = \frac{D_{\text{сп2}}}{D_{\text{сп1}}} * \frac{S_{\text{р1}}}{S_{\text{р2}}} * \frac{NDVI_2}{NDVI_1} * \frac{K_2}{K_1} * \frac{1}{\Delta T}$$

5

10

15

20

25

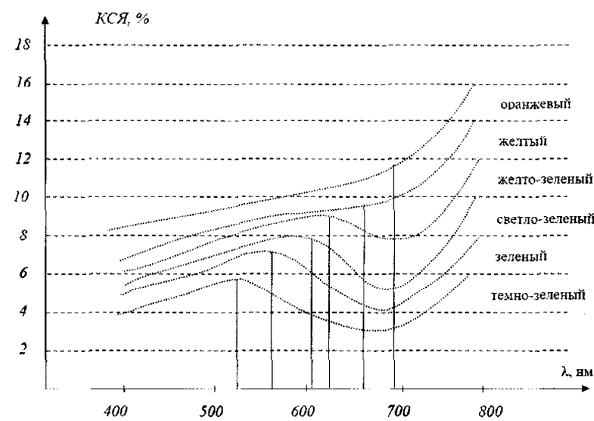
30

35

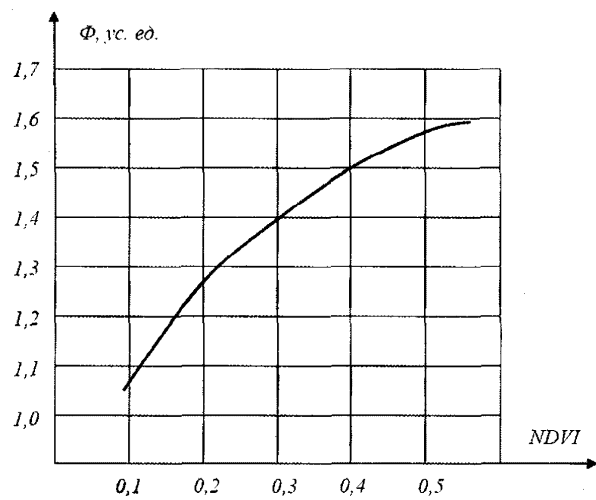
40

45

1

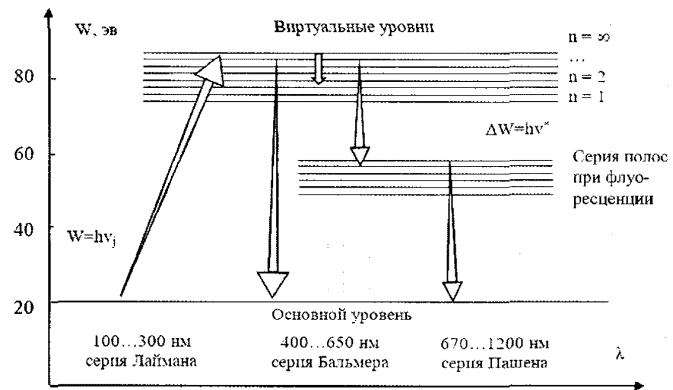


Фиг. 1

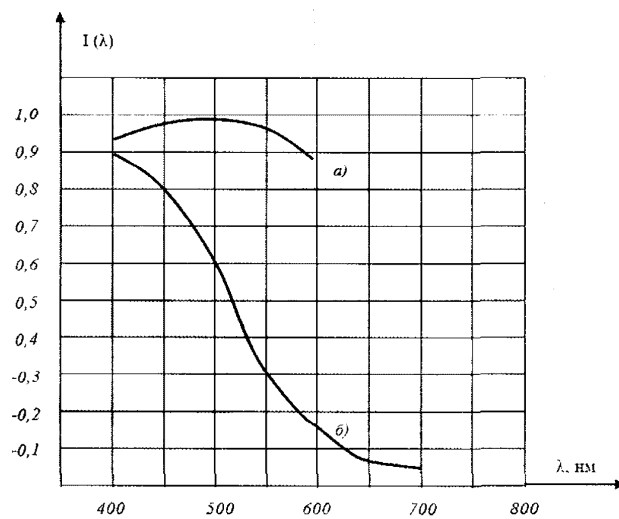


Фиг. 2

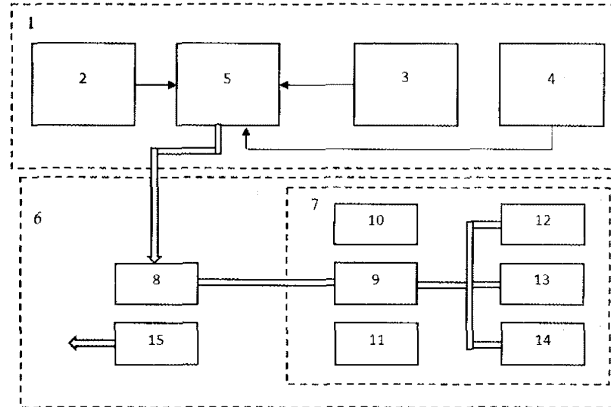
2



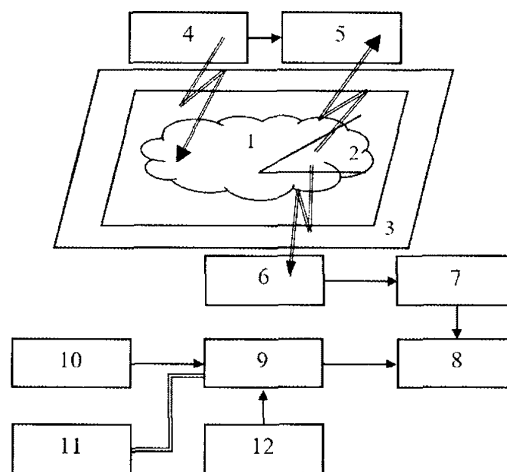
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6