



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015147016, 02.11.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.11.2015

Дата регистрации:
13.02.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.11.2015

(45) Опубликовано: 13.02.2017 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС (для Белова
М.Л., НИИ РЛ)

(72) Автор(ы):

Белов Михаил Леонидович (RU),

Федотов Юрий Викторович (RU),

Булло Ольга Алексеевна (RU),

Городничев Виктор Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего

профессионального образования

"Московский государственный технический

университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ

им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: SU 1276963 A1 15.12.1986. RU

92010565 A 19.06.1995. WO 00/75642 A1

14.12.2000. EP 2887053 A1 24.06.2015. US

8476603 B2 02.07.2013. US 2013/0276368 A1

24.10.2013. US 7746452 B2 29.06.2010. US 2005/

072935 A1 07.04.2005. CN 102288590 A

21.12.2011. RU 2453829 C2 20.06.2012. SU

1467470 A1 23.03.1989. US 5981958 A

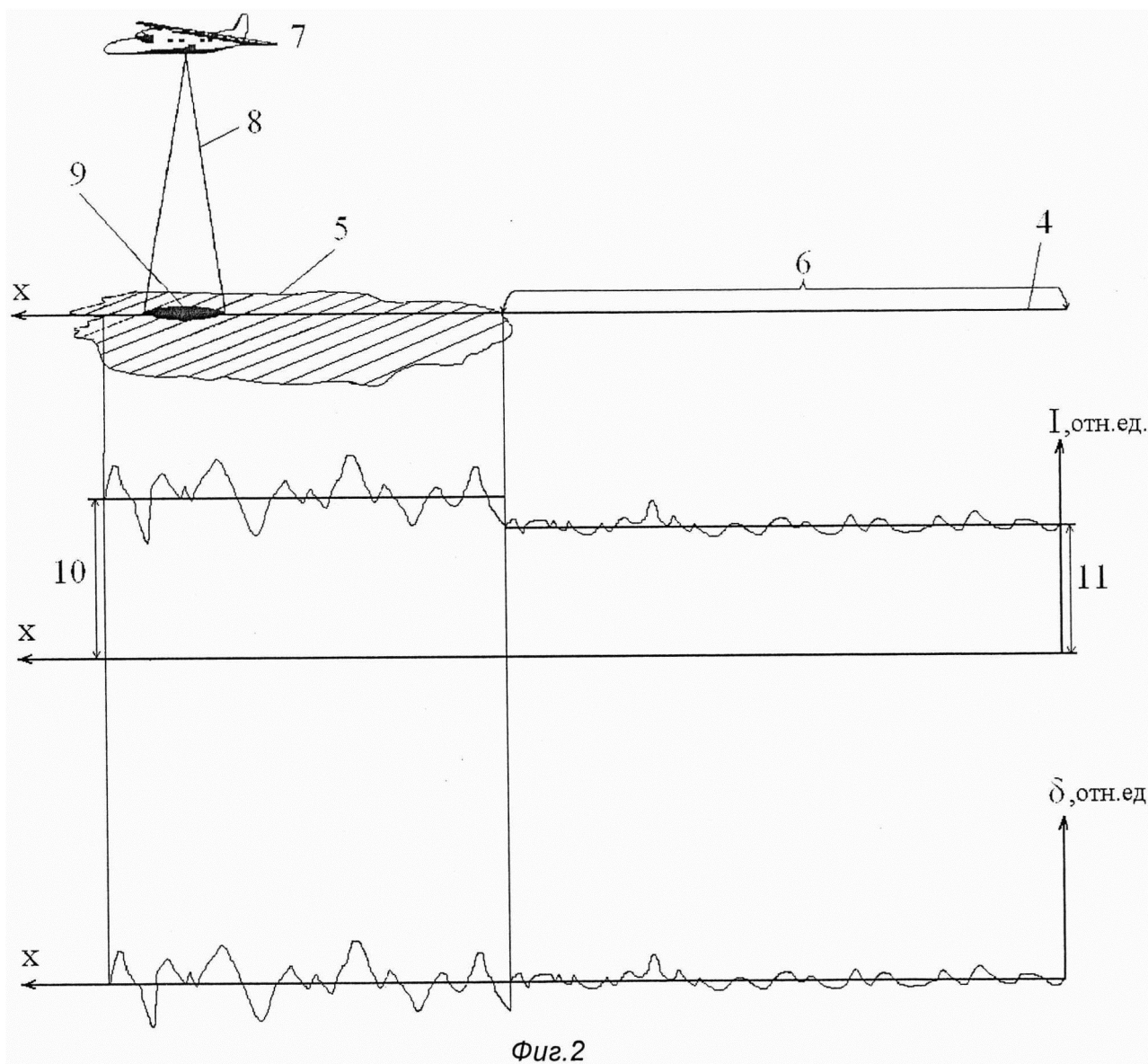
09.11.1999.

(54) Способ дистанционного трассового обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для дистанционного оперативного мониторинга состояния растительности по трассе полета авиационного носителя. При реализации дистанционного способа обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии возбуждают флуоресценцию хлорофилла растения с помощью лазерного источника с высокой частотой повторения импульсов. Далее регистрируют вариации δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях

спектра по серии измерений вдоль трассы полета авиационного носителя. Об обнаружении участков растительности в стрессовом состоянии судят по выполнению соотношения: $d_{st} \geq N d_{norm}$, где d_{st} , d_{norm} - среднеквадратическое значение вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по серии измерений вдоль линии полета для участков растений в стрессовом и в нормальном состоянии соответственно; N - некоторое пороговое значение, зависящее от вида растения и причины стрессового состояния. 3 ил.



Фиг.2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 610 521** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.
G01N 21/64 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2015147016, 02.11.2015**

(24) Effective date for property rights:
02.11.2015

Registration date:
13.02.2017

Priority:

(22) Date of filing: **02.11.2015**

(45) Date of publication: **13.02.2017** Bull. № 5

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGТУ im. N.E. Baumana, TSZIS (dlya Belova
M.L., NII RL)**

(72) Inventor(s):

**Belov Mikhail Leonidovich (RU),
Fedotov Yuriy Viktorovich (RU),
Bullo Olga Alekseevna (RU),
Gorodnichev Viktor Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
professionalnogo obrazovaniya "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.E. Baumana" (MGТУ im. N.E. Baumana)
(RU)**

(54) **METHOD OF DISTANT TRASS DETECTION OF VEGETATION PLOTS UNDER STRESS**

(57) Abstract:

FIELD: measuring technique.

SUBSTANCE: during the implementing of a remote way of detecting of vegetation plots under the stress there is an excite of fluorescence of a plant chlorophyll using a laser source with high pulse repetition rate. After this there is a registration of variation δ of relationship of fluorescence intensities at two wavelengths in the red and distant red spectral regions by series of measurements along the route of flight aviation media. About the detection of vegetation plots under the stress

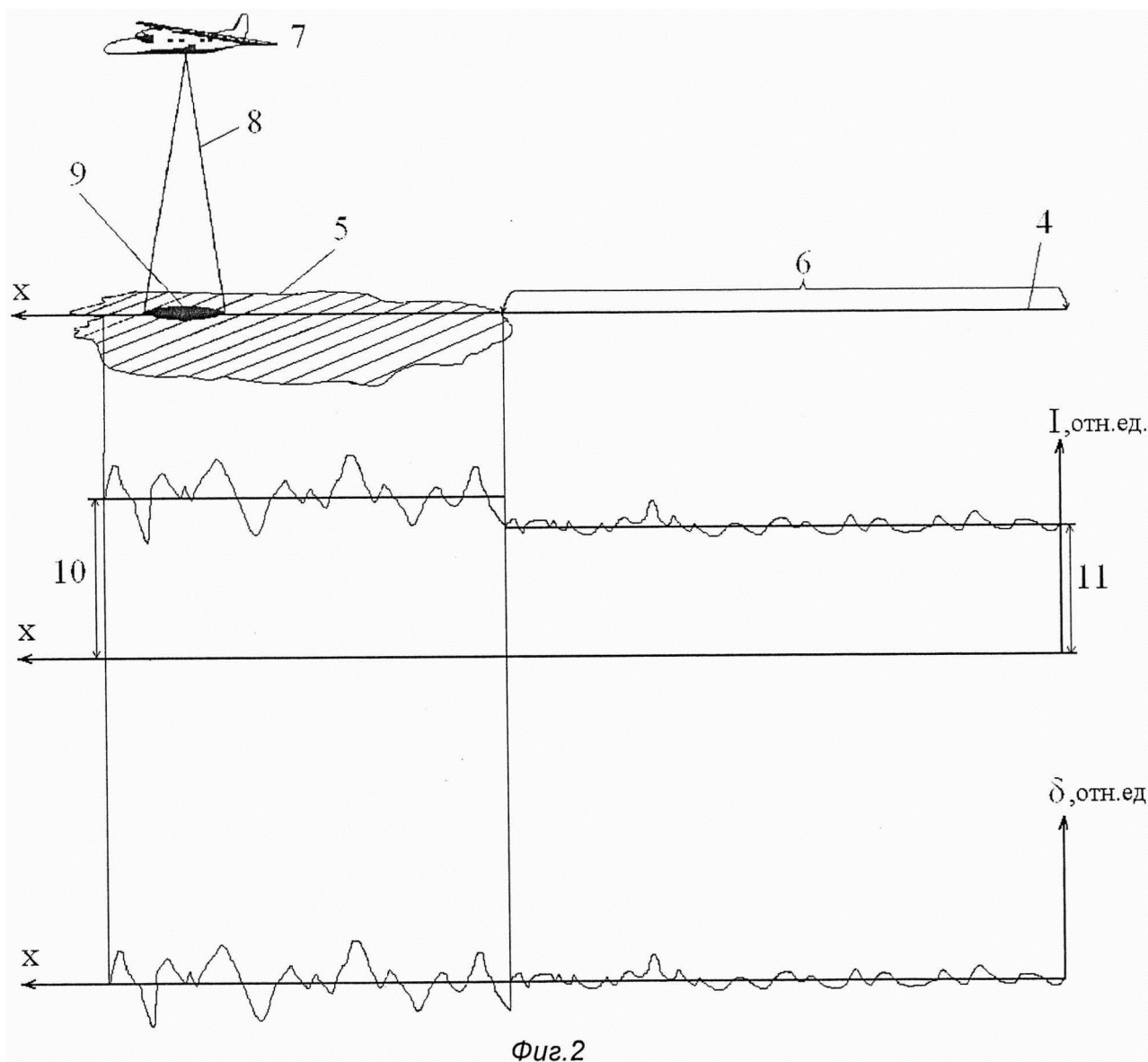
is judged by: $d_{ST} \geq Nd_{norm}$, where d_{ST} d_{norm} - RMS variations of fluorescence intensities of relationship δ at two wavelengths in the red and distant red spectral regions by series of measurements along the flight line for plants in times of stress and in the normal condition, respectively; N-some threshold value, depending on the type of plants and causes stress.

EFFECT: increase of the precision.

3 dwg

RU 2 610 521 C1

RU 2 610 521 C1



Фиг.2

Область техники

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для дистанционного оперативного мониторинга состояния растительности по трассе полета авиационного носителя.

5 Уровень техники

Одними из наиболее перспективных классов датчиков для дистанционного оперативного обнаружения стрессовых состояний растительности являются лазерные флуорометры, работа которых основана на регистрации флуоресцентного излучения от исследуемого растительного покрова [1-6].

10 Известны способы дистанционного определения физиологического состояния растений [1, 2], заключающиеся в том, что посылают импульсы излучения, возбуждая излучение флуоресценции растения, принимают излучение на трех длинах волн, включая длины волн 685 и 740 нм, и по результатам обработки информации об уровнях флуоресценции судят о состоянии растения.

15 Недостатком способов [1, 2] является ограничение, накладываемое на методику измерения, - измерения проводятся в темное время суток. Кроме того, в [1] измерения проводятся в два этапа с промежутком времени несколько секунд между этапами, что исключает возможность применения этого метода для дистанционного трассового контроля растительности с самолета или беспилотного летательного аппарата.

20 Наиболее близкими к предлагаемому способу являются способы [3-5] дистанционного определения физиологического состояния растения путем лазерного возбуждения флуоресценции хлорофилла растения и регистрации интенсивности флуоресценции на двух или нескольких длинах волн в красном и дальнем красном спектральных диапазонах и по соотношению интенсивностей флуоресценции на разных длинах волн
25 определяют состояние растения.

Недостатком способов [3-5] является то, что из-за сильных различий индуцированных лазером спектров флуоресценции хлорофилла у разных видов растений и неоднозначности стрессового отклика этот способ может иметь невысокую надежность определения стрессовых состояний растений.

30 Раскрытие изобретения

Избежать этого недостатка можно тем, что согласно дистанционному способу контроля состояния растений, включающему лазерное возбуждение флуоресценции хлорофилла растения и регистрацию интенсивности флуоресценции, для зондирования
35 состояния растений используют лазерный источник с высокой частотой повторения импульсов и проводят регистрацию вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по серии измерений вдоль трассы полета авиационного носителя, а об обнаружении участков растительности в стрессовом состоянии судят по выполнению соотношения:

$$40 \quad d_{st} \geq N d_{norm}, \quad (1)$$

где

d_{st} , d_{norm} - среднеквадратическое значение вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по
45 серии измерений вдоль линии полета для участков растений в стрессовом и в нормальном состоянии соответственно;

N - некоторое пороговое значение, зависящее от вида растения и причины стрессового состояния.

Способ основан на анализе данных экспериментальных измерений спектров

флуоресценции растений в нормальном и стрессовом состояниях и позволяет проводить обнаружение участков растительности в стрессовых состояниях, вызванных разными причинами.

Перечень фигур

На фиг. 1 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ. Фиг. 2 иллюстрирует принцип работы устройства, реализующего предлагаемый способ.

На Фиг. 3 показаны примеры величины d - среднеквадратического значения вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн 685 и 740 нм (расположенных в красной и дальней красной областях спектра соответственно) для разных растений и разных причинах стрессового состояния.

Осуществление изобретения

Устройство содержит источник лазерного излучения 1 с высокой частотой повторения импульсов, облучающий растительность 5, 6 на длине волны возбуждения λ_b ;

фотоприемник 2, регистрирующий по серии измерений вдоль трассы полета 4 авиационного носителя вариации δ отношения интенсивностей флуоресценции в двух узких спектральных диапазонах (с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 в красной и дальней красной областях спектра); блок обработки 3, который проводит проверку выполнения соотношений (1).

Устройство работает следующим образом.

Источник лазерного излучения 1 с высокой частотой повторения импульсов облучает растительность 5, 6 на длине волны возбуждения λ_b (например, источник излучения 1 может находиться на самолете или беспилотном летательном аппарате 7 - см. Фиг. 1, 2, где 5 - участок растительности в стрессовом состоянии, 6 - растительность в нормальном состоянии). Облучение растительности лазерным пучком 8 осуществляют вертикально вниз (для увеличения полосы обзора возможно сканирование поперек направления полета носителя). При высокой частоте повторения лазерных импульсов серия измерения, необходимая для эффективной оценки среднеквадратического значения вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции, может соответствовать участку трассы полета 4 длиной всего единицы метров. Например, при частоте повторения лазерных импульсов 5 кГц (а у лазера на иттрий - алюминиевом гранате, активированном ионами неодима, подходящего для задач мониторинга растительности, частота повторения импульсов может быть и 50 кГц) и скорости авиационного носителя 100 м/с, серия из 100 измерений соответствует участку трассы полета длиной 2 м (эта величина определяет минимальный размер участка растительности в стрессовом состоянии, который может быть обнаружен при заданных параметрах). При этом размер лазерного пятна подсвета 9 (которое несколько меньше поля зрения приемника) должен быть значительно меньше минимального размера участка растительности в стрессовом состоянии, который должен быть обнаружен.

Фотоприемник 2 (расположенный, как и источник излучения, на авиационном носителе - см. Фиг. 1, 2) регистрирует по серии измерений вдоль линии полета 4 авиационного носителя вариации δ отношения интенсивностей флуоресценции от растительности в двух узких спектральных диапазонах с центрами на длинах волн λ_1 , λ_2 в красной и дальней красной областях спектра (например, $\lambda_1=685$ и $\lambda_2=740$ нм, соответственно; λ_1 обычно лежит в диапазоне 680-690 нм, а λ_2 - в диапазоне 735-745 нм). Сигналы с фотоприемника 2 поступают в блок обработки 3 (см. Фиг. 3), в который заранее введено пороговое соотношение (1). Проводится проверка выполнения

соотношений (1) и определяется состояние растительности для зондируемого участка. При облете исследуемого района результатом работы блока 3 является массив данных о состоянии растительности вдоль трассы полета (карта участков растений в стрессовом состоянии).

Предлагаемый способ основан на том, что вариации δ отношения интенсивностей флуоресценции в красной и дальней красной областях спектра для растительности в стрессовом состоянии больше, чем вариации δ отношения интенсивностей флуоресценции для растительности в нормальном состоянии (см. Фиг. 2). На фиг. 2 в верхней части рисунка показана схема зондирования; в средней части рисунка показано изменение отношения I интенсивностей флуоресценции в красной и дальней красной областях вдоль трассы полета (включающей участок 5 растительности в стрессовом состоянии и область 6 растительности в нормальном состоянии); в нижней части рисунка показано изменение вариаций (отклонений от средних значений 10, 11 для участка 5 растительности в стрессовом состоянии и область 6 растительности в нормальном состоянии, соответственно) отношения интенсивностей флуоресценции в красной и дальней красной областях вдоль трассы полета. Средняя часть фиг. 2 показывает, что при редких измерениях отношения I интенсивностей флуоресценции возможны ошибки определения состояния растительности (из-за случайных изменений величины I). По серии измерений вдоль линии полета возможна оценка среднего значения отношения интенсивностей флуоресценции. Однако разница средних значений 10, 11 отношения интенсивностей флуоресценции может быть небольшой и не обеспечивать необходимой надежности обнаружения стрессовых состояний. Нижняя часть фиг. 2 показывает, что регистрация вариаций δ отношения интенсивностей является более надежным способом определения состояния растительности: для участка растительности в стрессовом состоянии вариации δ отношения интенсивностей существенно больше, чем для участка растительности в нормальном состоянии.

Исходными данными для разработки предлагаемого способа обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии являются экспериментально измеренные спектры флуоресценции различных видов листовых растений в нормальном и стрессовом состоянии, вызванном различными причинами (см., например, [7-10]).

На Фиг. 3 показаны примеры величины d - среднеквадратического значения вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн 685 и 740 нм (соответственно, в красной и дальней красной областях спектра) для разных ситуаций i - разных растений и разных причинах стрессового состояния.

Обозначения на Фиг. 3: 1 - избыточный полив растений в течение 17 дней (кресс-салат), 2 - избыточный полив растений в течение 24 дней (кресс-салат), 3 - отсутствие пролива растений в течение 11 дней (кресс-салат), 4 - внесение в почву железного купороса (газонная трава), 5 - внесение в почву медного купороса (газонная трава), 6, 7 - внесение в почву соли (газонная трава), 8 - срезание верхушки растения (салат), 9 - примятие растения (салат), 10 - подрезание корней растения (салат). Кружками обозначены значения отношения d для нормального состояния, а треугольниками - для стрессового состояния. Растения в нормальном состоянии были контрольными экземплярами тех растений, которые подвергались воздействию стресса. Измерения проводились с несколькими экземплярами растений одного вида как в нормальном, так и в стрессовом состояниях.

Из Фиг. 3 хорошо видно:

- величина d_{st} для конкретного растения в стрессовом состоянии, вызванном конкретной причиной, больше величины d_{norm} для этого растения в нормальном

состоянии;

- диапазон изменений величины d_{st} для растений в стрессовом состоянии находится выше диапазона изменений величины d_{norm} для растений в нормальном состоянии (для разных растений и разных причинах стрессового состояния).

Анализ данных, приведенных на Фиг. 3, показывает, что процедура обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии может быть пороговой:

если $d \geq Nd_{norm}$, то растительность в стрессовом состоянии,

если $d < Nd_{norm}$, то растительность в нормальном состоянии,

где

d_{st} , d_{norm} - среднеквадратическое значение вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по серии измерений вдоль линии полета для участков растений в стрессовом и в нормальном состоянии соответственно;

N - некоторое пороговое значение, зависящее (в общем случае) от вида растения и причины стрессового состояния.

Таким образом, предлагаемый способ дистанционного обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии, основанный на регистрации вариаций величины отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по серии измерений вдоль линии полета, позволяет надежно обнаруживать участки растительности в стрессовом состоянии.

Источники информации

1. Патент RU 2453829. Способ дистанционного определения функционального состояния фотосинтетического аппарата растений. Дата действия патента 27.09.2010, МПК G01N 21/64.

2. Воробьева Н.А. и др. Применение эффекта лазерно-индуцированной флуоресценции для дистанционного исследования фотосинтетического аппарата растений // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13. №5. С. 539-542.

3. Laser-induced fluorescence of green plants. 2: LIF caused by nutrient deficiencies in corn / Emmett W. Chappelle et al. // Applied Optics. 1984. Vol. 23. No 1. P. 139-142.

4. Investigation of laser-induced fluorescence of several natural leaves for application to lidar vegetation monitoring / Y. Saito et al. // Applied Optics. 1998. Vol. 37. No 3. P. 431-437.

5. Авторское свидетельство SU 1276963. Способ дистанционного определения физиологического состояния растения. Дата действия патента 22.11.1984, МПК G01N 21/64.

6. Patent US 20050072935. Bio-imaging and information system for scanning, detecting, diagnosing and optimizing plant health. Date of Patent Mar. 9, 2010. Int. Cl. G01N 21/64.

7. Федотов Ю.В., Булло О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Экспериментальное исследование лазерного флуоресцентного метода контроля состояния растений в стрессовых состояниях, вызванных механическими повреждениями // Наука и образование. 2012. N11. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/480063.html>.

8. Федотов Ю.В., Булло О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Экспериментальное исследование лазерного флуоресцентного метода контроля стрессовых состояний растений, вызванных наличием загрязнителей в почве // Наука и образование. 2013. N5. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/565060.html>.

9. Федотов Ю.В., Булло О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Экспериментальное исследование лазерного флуоресцентного метода контроля состояния растений для стрессовых состояний, вызванных неправильным режимом полива // Наука и

образование. 2014. N4. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/707937.html>.

10. Федотов Ю.В., Булло О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Исследование стабильности спектров лазерно-индуцированной флуоресценции растений // Наука и образование. 2014. N7. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/718315.html>.

5

(57) Формула изобретения

Дистанционный способ обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии путем лазерного возбуждения флуоресценции хлорофилла растения и регистрации интенсивности флуоресценции, отличающийся тем, что для зондирования растительности
10 используют лазерный источник с высокой частотой повторения импульсов и проводят регистрацию вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по серии измерений вдоль трассы полета авиационного носителя, а об обнаружении участков растительности в стрессовом состоянии судят по выполнению соотношения:

$$15 \quad d_{st} \geq N d_{norm},$$

где

d_{st} , d_{norm} - среднеквадратическое значение вариаций δ отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн в красной и дальней красной областях спектра по
20 серии измерений вдоль линии полета для участков растений в стрессовом и в нормальном состоянии соответственно;

N - некоторое пороговое значение, зависящее от вида растения и причины стрессового состояния.

25

30

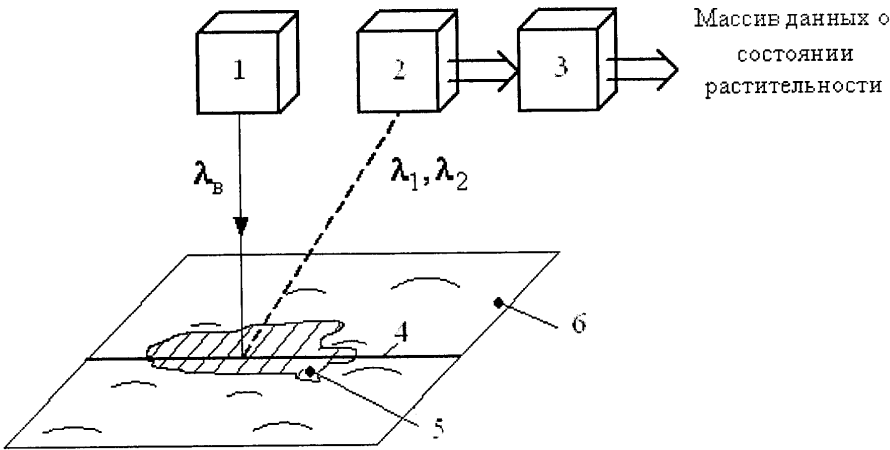
35

40

45

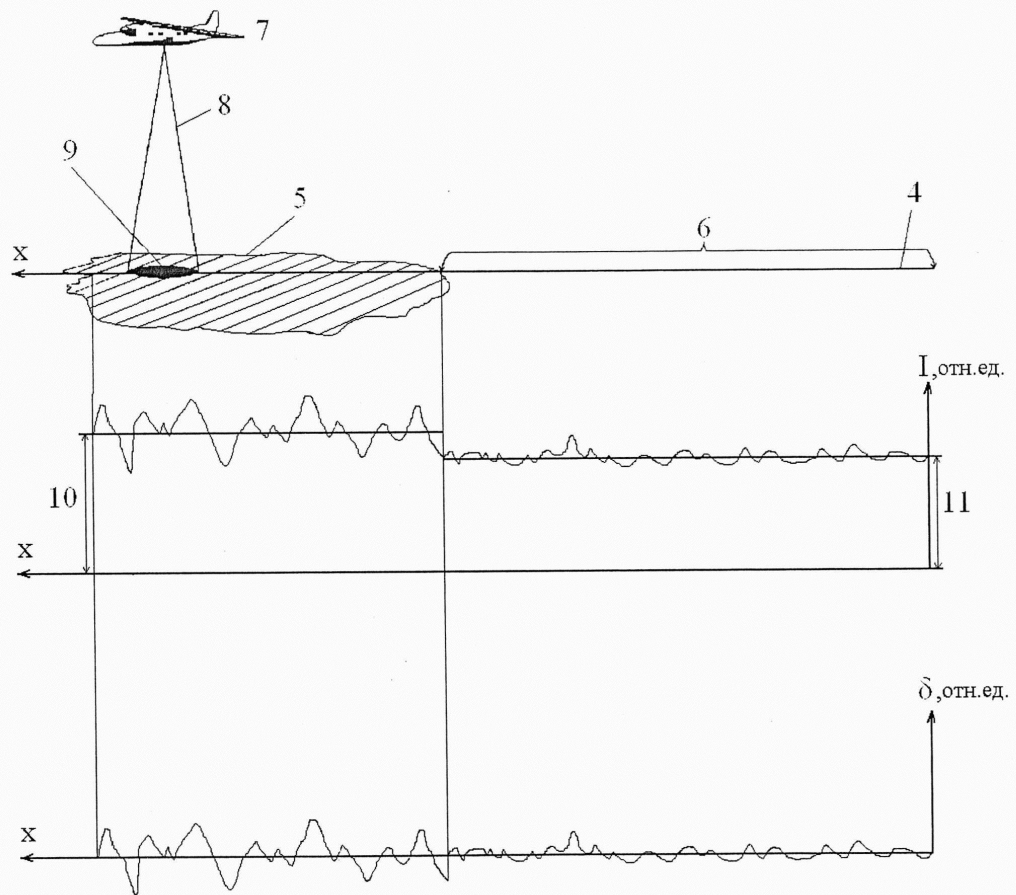
1

9

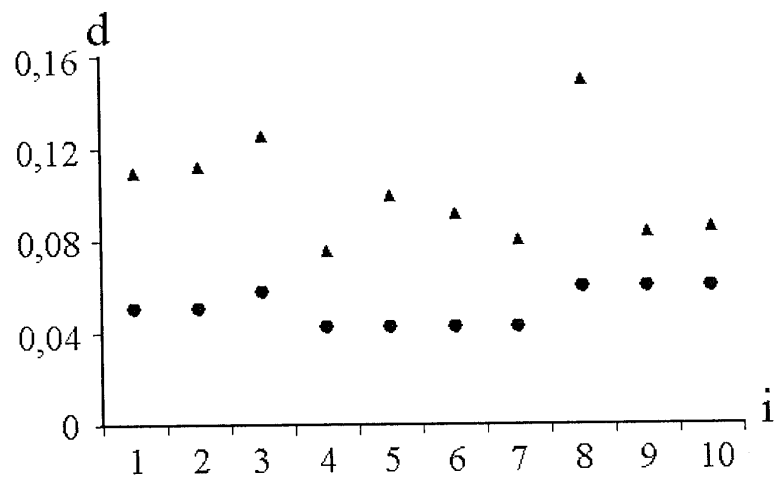


Фиг.1

2



Фиг.2



Фиг.3