



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01N 21/6402 (2006.01); A01G 7/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016150462, 21.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.12.2016Дата регистрации:  
12.03.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2016

(45) Опубликовано: 12.03.2018 Бюл. № 8

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  
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: Белов М. Л. и др. "Оптимизация  
параметров информационных каналов для  
лазерного флуоресцентного метода  
контроля состояния растений", НАУКА И  
ОБРАЗОВАНИЕ, № 8, 2015 г., стр. 171-183.  
RU 2453829 C2, 20.06.2012. WO 2015091632  
A1, 25.06.2015. US 6573512 B1, 03.06.2003.

(54) Дистанционный способ обнаружения стрессовых состояний растений

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительной технике и касается дистанционного способа обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии путем лазерного возбуждения флуоресценции хлорофилла растения и регистрации интенсивности флуоресценции. Для зондирования растительности используют каналы регистрации в спектральных диапазонах 680, 690, 735 и 740 нм. Об обнаружении участков растительности в стрессовом состоянии судят по выполнению соотношений:

$R_{685/740} > N1$  или/и  $R_{690/735} > N2$  - растение в стрессовом состоянии,

$$R_{685/740} < N1 \text{ и } \frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})} < N2 \text{ -растение}$$

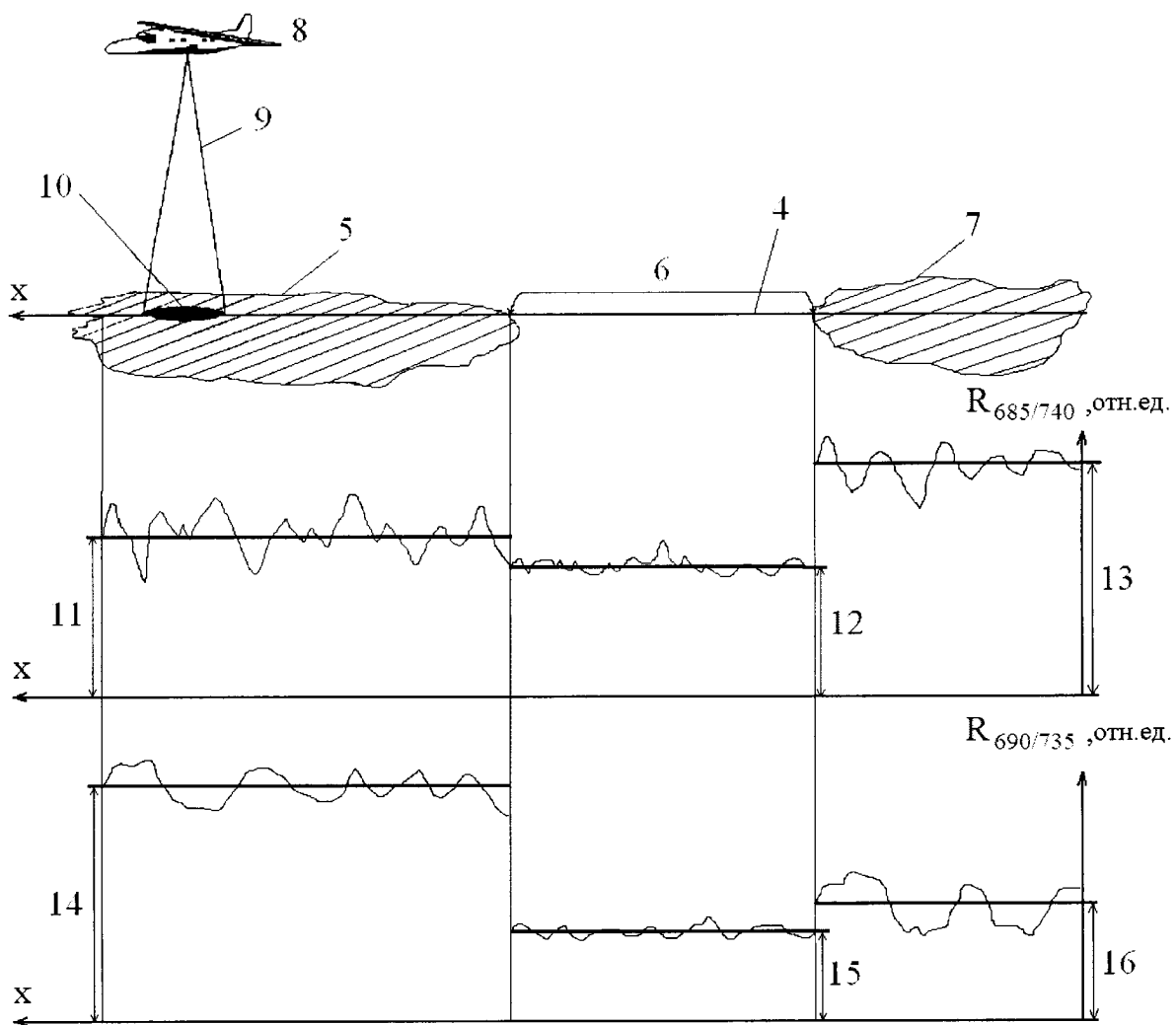
в нормальном состоянии,  
где:

$$R_{685/740} = \frac{I(685\text{нм})}{I(740\text{нм})} R_{690/735} = \frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})}$$

$I(685 \text{ нм})$ ,  $I(740 \text{ нм})$ ,  $I(690 \text{ нм})$ ,  $I(735 \text{ нм})$  - интенсивности флуоресценции на соответствующих длинах волн.

$N1$ ,  $N2$  - пороговые значения, зависящие от вида растения и причины стрессового состояния.

Технический результат заключается в повышении надежности обнаружения стрессового состояния растений. 4 ил.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

## (12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

G01N 21/6402 (2006.01); A01G 7/00 (2006.01)

(21)(22) Application: 2016150462, 21.12.2016

(24) Effective date for property rights:  
21.12.2016

Registration date:  
12.03.2018

Priority:

(22) Date of filing: 21.12.2016

(45) Date of publication: 12.03.2018 Bull. № 8

Mail address:

105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,  
MG TU im. N.E. Bauman, 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 byudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj  
tehnicheskij universitet imeni N.E. Bauman  
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"  
(MG TU im. N.E. Bauman) (RU)

## (54) REMOTE METHOD FOR DETECTION OF PLANTS STRESS STATES

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measuring equipment and relates to a remote method for detecting vegetation areas under stress by laser excitation of the fluorescence of the plant chlorophyll and recording the fluorescence intensity. For vegetation sounding, the recording channels in the spectral ranges of 680, 690, 735 and 740 nm are used. Detection of vegetation areas under stress is judged by accomplishment of the correlations:  $R_{685/740} > N1$  or/and  $R_{690/735} > N2$  – the plant under stress,  $R_{685/740} < N1$  and

$\frac{I(690nm)}{I(735nm)} < N2$  – the plant in a normal state,

w h e r e :

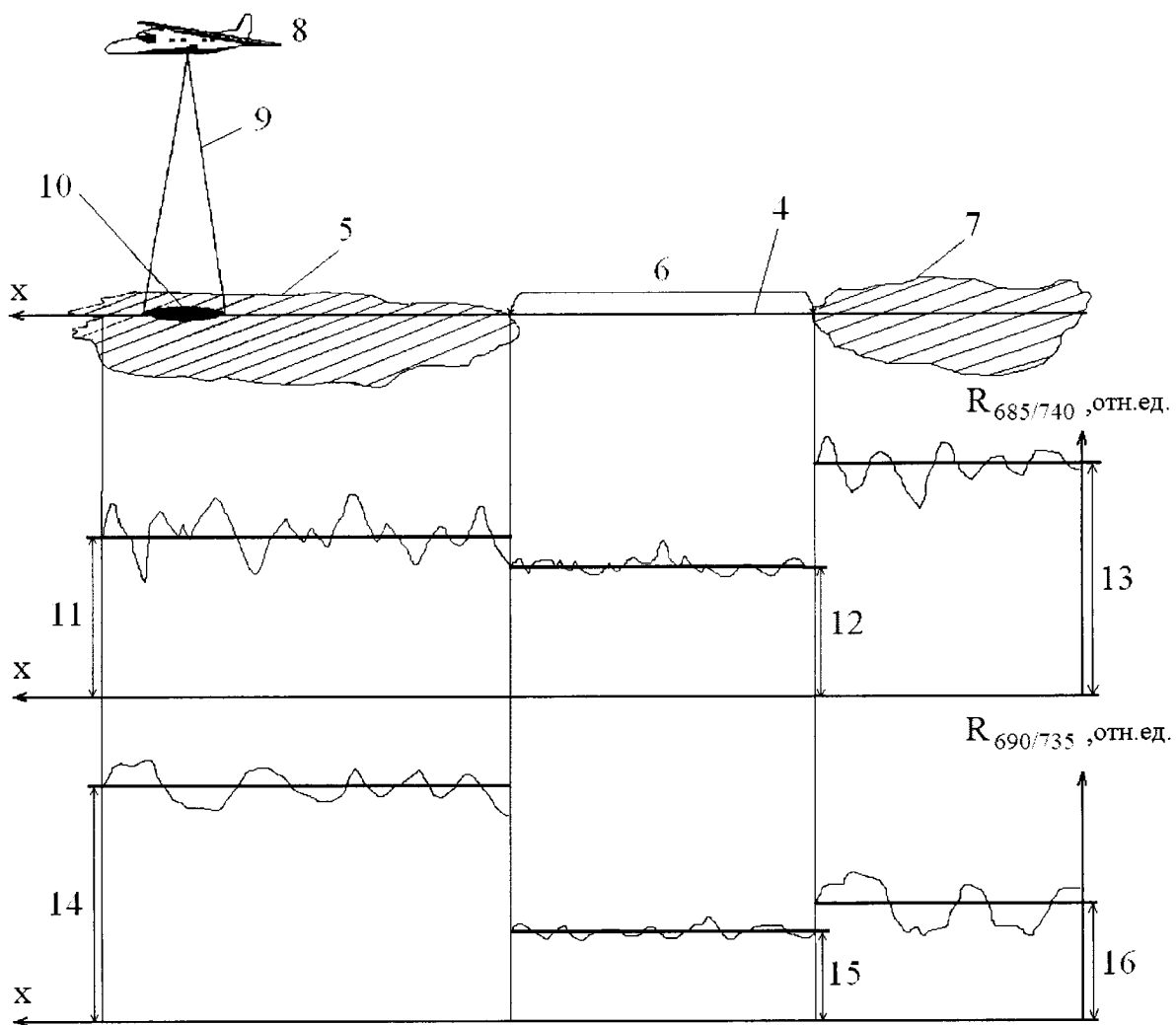
$$R_{685/740} = \frac{I(685nm)}{I(740nm)},$$

$$R_{690/735} = \frac{I(690nm)}{I(735nm)} I(685 nm), I(740 nm), I(690$$

nm), I (690 nm) – fluorescence intensity at the corresponding wavelengths. N1, N2 – threshold values, depending on the type of a plant and the cause of stress.

EFFECT: technical result is to increase the reliability of detecting the plants stress states.

1 cl, 4 dwg



Фиг.2

Область техники

Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для дистанционного (неконтактного) оперативного контроля состояния растительности.

Уровень техники

5 Наиболее эффективными методами для дистанционного (неконтактного) оперативного контроля состояния растений являются лазерные флуоресцентные методы, основанные на регистрации лазерно-индуцированного флуоресцентного излучения от исследуемой растительности [1-10].

Известны способы дистанционного определения физиологического состояния  
10 растений [1, 4], 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.

Недостатком способов [1, 4] является ограничение, накладываемое на методику  
15 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 контроля растительного покрова с летательного аппарата.

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ (см., например, [5, 6])  
20 дистанционного контроля состояния растения путем лазерного возбуждения флуоресценции хлорофилла растения и регистрации интенсивности флуоресценции на двух длинах волн (одна из которых выбирается в красном 670...690 нм, а другая в дальнем красном 725...750 нм спектральном диапазоне). Состояние растения определяют по отношению интенсивностей флуоресценции на длинах волн в красном и дальнем  
25 красном диапазонах.

В некоторых работах регистрация интенсивности флуоресценции проводится на трех длинах волн [2, 7-9] (в большинстве работ третья длина волны выбирается в диапазоне 700...715 нм). При трех длинах волн регистрации дополнительно используют отношение  
30 интенсивности флуоресценции на третьей длине волны к интенсивности флуоресценции на длине волны в красном или дальнем красном диапазонах.

Недостатком способов [2, 5-7] является то, что из-за сильных различий лазерно-индуцированных спектров флуоресценции у разных видов растений и неоднозначности стрессового отклика эти способы могут иметь невысокую надежность обнаружения стрессовых состояний растений.

35 Раскрытие изобретения

Избежать этого недостатка можно тем, что согласно дистанционному способу контроля состояния растений, включающему лазерное возбуждение флуоресценции хлорофилла растения и регистрацию интенсивности флуоресценции. При этом при  
40 регистрации излучения флуоресценции используют два канала регистрации в красном 685 и 690 нм и два канала регистрации в дальнем красном 735 и 740 нм спектральных диапазонах, а об обнаружении участков растительности в стрессовом состоянии судят по выполнению соотношения:

$$R_{685/740} > N1 \text{ или/и } R_{690/735} > N2 - \text{растение в стрессовом состоянии,}$$

45

(1)

$$R_{685/740} < N1 \text{ и } \frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})} < N2 - \text{растение в нормальном состоянии,}$$

где:

$$R_{685/740} = \frac{I(685\text{нм})}{I(740\text{нм})}, R_{690/735} = \frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})}$$

$I(685\text{ нм})$ ,  $I(740\text{ нм})$ ,  $I(690\text{ нм})$ ,  $I(735\text{ нм})$  - интенсивности флуоресценции на соответствующих длинах волн в красной и дальней красной областях спектра;

$N1$ ,  $N2$  - некоторые пороговые значения, зависящие от вида растения и причины стрессового состояния.

Указанные отличительные признаки стрессового состояния растительности  $R_{685/740}$  и  $R_{690/735}$  известны, но их совокупность не известна, и поэтому предложенное техническое решение соответствует критерию "изобретательский уровень".

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 чертежей

На Фиг. 1 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ.

На Фиг. 2 иллюстрируется принцип работы устройства, реализующего предлагаемый способ.

На Фиг. 3 показан пример результатов обработки спектров флуоресценции для кресс-салата в нормальном и стрессовом состоянии, вызванном отсутствием полива в течение 24 дней.

На Фиг. 4 показан пример результатов обработки спектров флуоресценции для травы в нормальном и стрессовом состоянии, вызванном загрязнением почвы железным купоросом.

На Фиг. 3, 4 верхний ряд данных - стрессовое состояние растения, нижний ряд данных - нормальное состояние растения. По горизонтальной оси отложен номер используемого отношения  $R$ : 1 -  $R_{680/740}$ , 2 -  $R_{685/740}$ , 3 -  $R_{680/730}$ , 4 -  $R_{685/730}$ , 5 -  $R_{690/735}$ , 6 -  $R_{685/735}$ , 7 -

$$R_{680-712/712-750} (R_{680-712/712-750} = \frac{\int_{680\text{нм}}^{712\text{нм}} I(\lambda)d\lambda}{\int_{712\text{нм}}^{750\text{нм}} I(\lambda)d\lambda}).$$

Осуществление изобретения

Устройство (см. Фиг. 1) содержит источник лазерного излучения 1, облучающий растительность 5, 6, 7 на длине волны возбуждения  $\lambda_B$ ; фотоприемник 2, регистрирующий вдоль трассы полета 4 авиационного носителя интенсивности флуоресценции в двух каналах регистрации в красном 685 и 690 нм и в двух каналах регистрации в дальнем красном 735 и 740 нм спектральных диапазонах (спектральная ширина каналов регистрации флуоресцентного излучения обычно 5...20 нм); блок обработки 3, который проводит проверку выполнения соотношений (1).

Устройство работает следующим образом.

Источник лазерного излучения 1 облучает (вдоль трассы полета авиационного носителя) растительность 5, 6, 7 на длине волны возбуждения  $\lambda_B$  (например, источник излучения 1 может находиться на самолете или беспилотном летательном аппарате 8

- см. Фиг. 2). На Фиг. 1 и 2 - участки 5, 1 - растительность в стрессовом состоянии, вызванном разными причинами, 6 - растительность в нормальном состоянии. Облучение растительности лазерным пучком 9 осуществляют вертикально вниз (для увеличения полосы обзора возможно сканирование поперек направления полета носителя). При этом размер лазерного пятна подсвета 10 (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) регистрирует интенсивности флуоресценции от растительности в двух каналах регистрации в красном 685 и 690 нм и в двух каналах регистрации в дальнем красном 735 и 740 нм спектральных диапазонах. Сигналы с фотоприемника 2 поступают в блок обработки 3 (см. Фиг. 1), в который заранее введены значения порогов N1, N2. 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 отношение  $R$  интенсивностей флуоресценции в красной и дальней красной областях спектра для растительности в стрессовом состоянии больше, чем отношение  $R$  интенсивностей флуоресценции для растительности в нормальном состоянии (см. Фиг. 2, 3, 4).

На Фиг. 2 в верхней части чертежа показана схема зондирования. В средней части чертежа показано изменение отношения  $R_{685/740}$  (при использовании каналов регистрации 685 и 740 нм), а в нижней части чертежа показано изменение отношения  $R_{690/735}$  (при использовании каналов регистрации 690 и 735 нм). На средней и нижней части чертежа видно, что отношения интенсивностей флуоресценции  $R_{685/740}$  и  $R_{690/735}$  для растительности в стрессовом состоянии на участках 5, 7 больше, чем отношение  $R_{685/740}$  и  $R_{690/735}$  для растительности в нормальном состоянии на участке 6: на участках 5, 7 величина отношения  $R_{685/740}$  11, 13 больше величины отношения  $R_{685/740}$  12 на участке 6 (аналогично, на участках 5, 7 величина отношения  $R_{690/735}$  14, 16 больше величины отношения  $R_{690/735}$  15 на участке 6).

Однако разница значений  $R_{685/740}$  для стрессового (на участке 5) и нормального (на участке 6) состояния растений невелика (разница уровней 11 и 12) и наличие шума аппаратуры в условиях реальных дистанционных измерений может привести к неправильному определению состояния растений на участке 5 (при использовании для контроля состояния растений отношения  $R_{685/740}$ ). В то же время разница значений  $R_{690/735}$  для стрессового и нормального состояния растений довольно велика и наличие шума аппаратуры в условиях реальных дистанционных измерений может с большой вероятностью не приведет к неправильному определению состояния растений на участке 5 (при использовании для контроля состояния растений отношения  $R_{690/735}$ ).

Для участка 7 (для другой растительности или другого вида стресса) ситуация противоположная. Разница значений  $R_{690/735}$  для стрессового (на участке 7) и нормального (на участке 6) состояния растений невелика и при наличии шума аппаратуры возможны ошибки определения состояния растений на участке 7 (при использовании для контроля состояния растений отношения  $R_{690/735}$ ). В то же время разница значений  $R_{685/740}$  для стрессового и нормального состояния растений довольно

велика и наличие шума аппаратуры не приведет к неправильному определению состояния растений на участке 7 (при использовании для контроля состояния растений отношения  $R_{685/740}$ ).

Таким образом, фиг. 2 показывает, что использование для регистрации флуоресценции двух каналов регистрации в красном 685 и 690 нм и двух каналов регистрации в дальнем красном 735 и 740 нм спектральных диапазонах позволяет увеличить надежность определения состояния растительности, когда на трассе полета могут быть разные виды растительности или(и) разные виды стрессов растений.

Исходными данными для разработки предлагаемого способа обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии являются экспериментально измеренные спектры флуоресценции различных видов растений в нормальном и стрессовом состоянии, вызванном различными причинами (см., например, [8-12]).

На Фиг. 3 показан пример результатов обработки спектров флуоресценции для кресс-салата в нормальном и стрессовом состоянии, вызванном отсутствием полива в течение 24 дней. На Фиг. 4 показан пример результатов обработки спектров флуоресценции для травы в нормальном и стрессовом состоянии, вызванном загрязнением почвы железным купоросом.

На Фиг. 3, 4 верхний ряд данных на чертежах (сплошные линии) - стрессовое состояние растения, нижний ряд данных на чертежах (пунктирные линии) - нормальное состояние растения. По горизонтальной оси отложен номер используемого отношения  $R$ : 1 -  $R_{680/740}$ , 2 -  $R_{685/740}$ , 3 -  $R_{680/730}$ , 4 -  $R_{685/730}$ , 5 -  $R_{690/735}$ , 6 -  $R_{685/735}$ , 7 -  $R_{680-712/712-750}$ .

Из Фиг. 3, 4 видно, что величина  $R$  для стрессового состояния растений всегда больше величины  $R$  для нормального состояния. Однако разница величины  $R$  для стрессового состояния и величины  $R$  для нормального состояния во-первых, невелика, а во-вторых, существенно зависит от вида растения, вида стресса и выбранных спектральных диапазонов регистрации флуоресцентного излучения.

За параметр, характеризующий эффективности выбора спектральных диапазонов (в задаче обнаружения стрессовых состояний разных растений), естественно взять разность величин  $R$  для стрессового и нормального состояния растений. Чем больше эта разность, тем больше надежность правильного обнаружения стрессовых состояний в условиях шумов и ошибок измерения.

Анализ результатов экспериментальных исследований, типичные примеры которых приведены на Фиг. 3, 4, показывает: наилучшими каналами регистрации интенсивности флуоресценции в большинстве случаев являются спектральные каналы 685, 740 нм или 690, 735 нм (в зависимости от вида растений и видов стрессов).

Если на трассе полета может быть растительность разного вида в нормальном и стрессовых состояниях, вызванных разными причинами, то процедура обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии может быть следующей (использующей наилучшие каналы регистрации интенсивности флуоресценции: 685, 740 нм или 690, 735 нм):

$R_{685/740} > N1$  или/и  $R_{690/735} > N2$  - растение в стрессовом состоянии,

$R_{685/740} < N1$  и  $\frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})} < N2$  - растение в нормальном состоянии,

где:



$$R_{685/740} = \frac{I(685\text{нм})}{I(740\text{нм})} \quad R_{690/735} = \frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})}$$

I(685 нм), I(740 нм), I(690 нм), I(690 нм) - интенсивности флуоресценции на соответствующих длинах волн в красной и дальней красной областях спектра;

N1, N2 - некоторые пороговые значения, зависящие от вида растения и причины стрессового состояния (наиболее естественно их выбрать посередине расстояния между значением R для стрессового и нормального состояния конкретного вида растений и конкретного вида стресса).

Таким образом, предлагаемый способ дистанционного обнаружения участков растительности в стрессовом состоянии, основанный на регистрации интенсивностей флуоресценции в двух каналах регистрации в красном 680 и 690 нм и в двух каналах регистрации в дальнем красном 735 и 740 нм спектральных диапазонах, позволяет надежно обнаруживать участки растительности в различных стрессовых состояниях.

#### Источники информации

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

2. Авторское свидетельство SU 1276963. Способ дистанционного определения физиологического состояния растения. Дата подачи заявки 22.11.1984. МПК G01N 21/64.

3. 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.

4. 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.

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

6. 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.

7. Subhash N., Mohanan C.N. Laser-induced red chlorophyll fluorescence signatures nutrient stress indicator in rice plants // Remote sens, environ. 1994. Vol. 47. P. 45-50.

8. Белов М.Л., Булло О.А., Городничев В.А. Лазерный флуоресцентный метод обнаружения стрессовых состояний растений, вызванных недостаточным уровнем питательных веществ или наличием загрязнителей в почве // Наука и образование. 2012. №12. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/507361.html>.

9. Алборова А.Л., Белов М.Л., Булло О.А., Городничев В.А. Оптимизация параметров информационных каналов для лазерного флуоресцентного метода контроля состояния растений // Наука и образование. 2015. №18. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/793645.html>.

10. 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. №11. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/480063.html>.

11. 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>.

12. 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. №4. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/707937.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 при регистрации излучения флуоресценции используют два канала регистрации в красном 680 и 690 нм и два канала регистрации в дальнем красном 735 и 740 нм спектральных диапазонах, а об обнаружении участков растительности в стрессовом состоянии судят по выполнению соотношения:

$R_{685/740} > N1$  или/и  $R_{690/735} > N2$  - растение в стрессовом состоянии,

$R_{685/740} < N1$  и  $\frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})} < N2$  - растение в нормальном состоянии,

где:

$$R_{685/740} = \frac{I(685\text{нм})}{I(740\text{нм})}, R_{690/735} = \frac{I(690\text{нм})}{I(735\text{нм})}$$

$I(685\text{ нм})$ ,  $I(740\text{ нм})$ ,  $I(690\text{ нм})$ ,  $I(735\text{ нм})$  - интенсивности флуоресценции на соответствующих длинах волн в красной и дальней красной областях спектра;

$N1$ ,  $N2$  - некоторые пороговые значения, зависящие от вида растения и причины стрессового состояния.

25

30

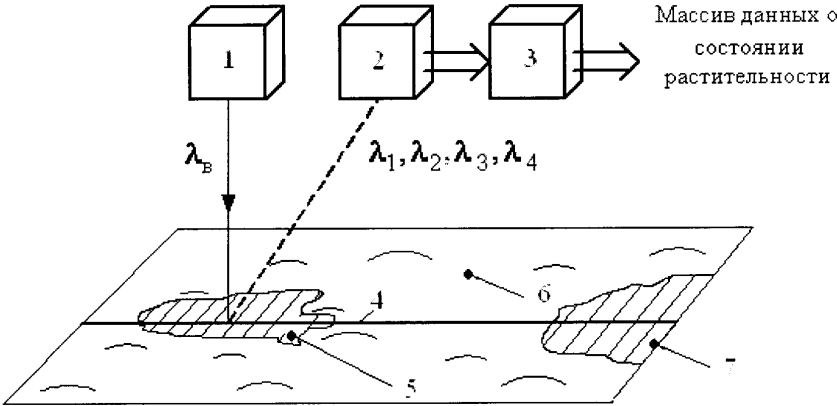
35

40

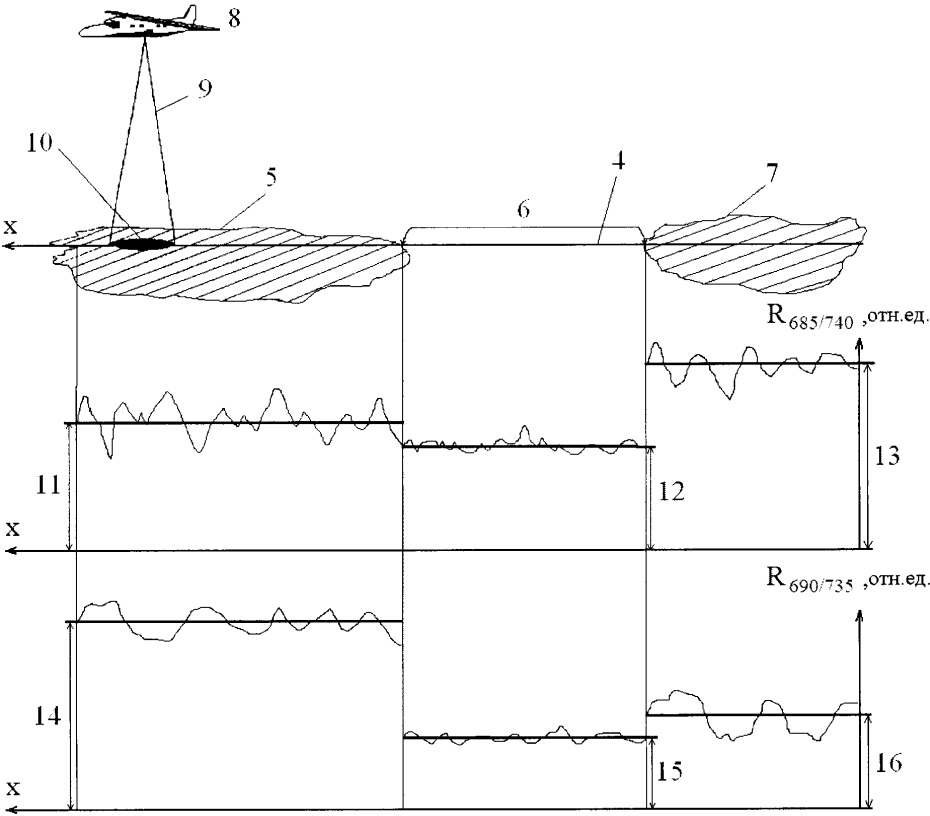
45

1

10

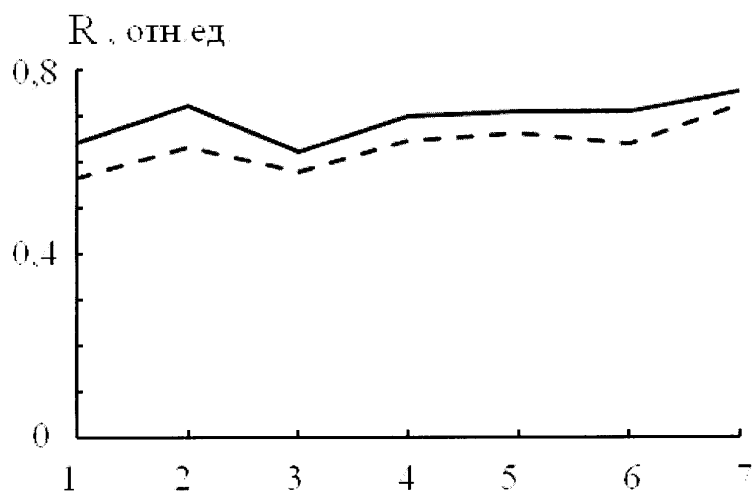


Фиг.1

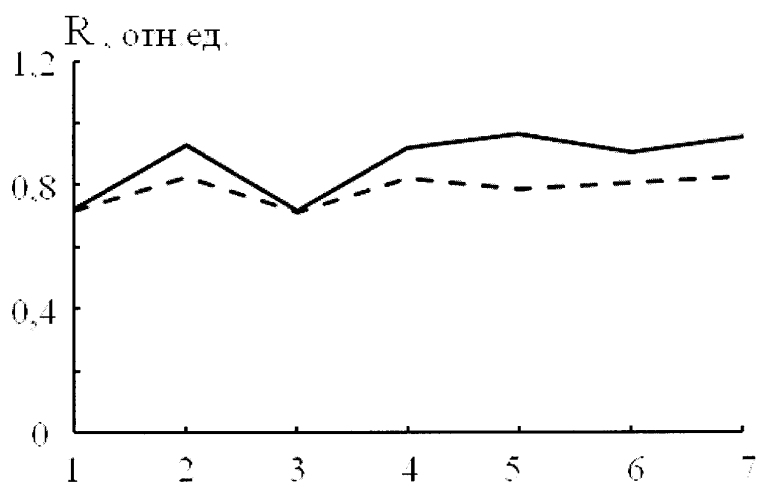


Фиг.2

2



Фиг.3



Фиг.4