



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*G01C 11/00* (2020.02); *A01G 23/00* (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019132500, 14.10.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 14.10.2019

Дата регистрации:  
 22.04.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.10.2019

(45) Опубликовано: 22.04.2020 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Барышников Николай Васильевич (RU),  
 Белов Михаил Леонидович (RU),  
 Городничев Виктор Александрович (RU),  
 Федотов Юрий Викторович (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 2428004 C1, 10.09.2011. RU  
 2115887 C1, 20.07.1998. US 7187452 B2,  
 06.03.2007.

(54) Дистанционный способ выделения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев в летнее время с авиационного носителя

(57) Реферат:

Изобретение относится к лесному хозяйству и может найти применение при дистанционном мониторинге лесных массивов на обширных территориях. Дистанционный способ выделения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев включает дистанционную регистрацию полей яркости лесной растительности с авиационного носителя. Для этого используют лазерное зондирование с авиационного носителя на безопасных для зрения двух длинах волн  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , выбранных по экспериментальным данным в УФ и ближнем ИК спектральных диапазонах. По данным измерений формируют информационный индекс

$$R(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}, \quad \text{равный} \quad \text{отношению}$$

регистрируемых интенсивностей  $I(\lambda_1)$  и  $I(\lambda_2)$  на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$ . Об участках с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев судят по выполнению соотношений:

$R(\lambda_1, \lambda_2) \geq R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  для лиственных пород;

$R(\lambda_1, \lambda_2) < R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  для хвойных пород;

где  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм;  $R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  - пороговое значение, выбранное в результате предварительных исследований спектров отражения хвойных и лиственных пород деревьев в данном регионе. Способ позволяет проводить мониторинг независимо от времени суток и в широком диапазоне атмосферных условий при высотах полета авиационного носителя до единиц км. 5 ил.

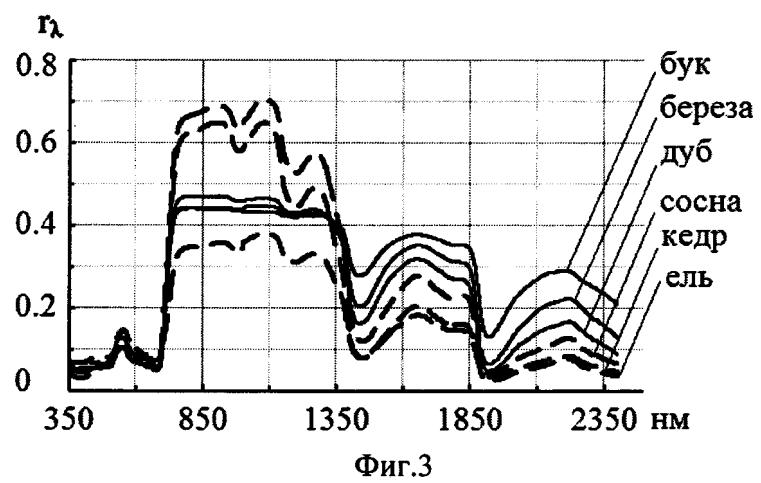
RU 2719731 C1

RU 2719731

C1

R U 2 7 1 9 7 3 1 C 1

R U 2 7 1 9 7 3 1 C 1



Фиг.3



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC  
*G01C 11/00* (2020.02); *A01G 23/00* (2020.02)

(21)(22) Application: 2019132500, 14.10.2019

(24) Effective date for property rights:  
14.10.2019

Registration date:  
22.04.2020

Priority:

(22) Date of filing: 14.10.2019

(45) Date of publication: 22.04.2020 Bull. № 12

Mail address:  
105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,  
MGTU im. N.E. Baumana, TSIS dlya Belova M.L.  
(NII RL)

(72) Inventor(s):

Baryshnikov Nikolaj Vasilevich (RU),  
Belov Mikhail Leonidovich (RU),  
Gorodnichev Viktor Aleksandrovich (RU),  
Fedotov Yurij Viktorovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj  
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana  
(natsionalnyj issledovatelskij universitet)"  
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)

(54) REMOTE METHOD OF SELECTING AREAS OF FOREST WITH PREDOMINANCE OF CONIFEROUS  
OR DECIDUOUS TREES IN SUMMER FROM AIRCRAFT CARRIER

(57) Abstract:

FIELD: forestry.

SUBSTANCE: invention relates to forestry and can be used in remote monitoring of forest areas on vast territories. Remote method of selecting areas of forest with predominance of coniferous or deciduous trees includes remote registration of brightness fields of forest vegetation from aircraft carrier. That is ensured by laser probing from an aircraft carrier at two wavelengths  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , which are safe for vision and selected according to experimental data in UV and near infrared spectral ranges. According to measurement data information index is formed  $R(\lambda_1, \lambda_2) = I(\lambda_2)/I(\lambda_1)$ , equal to ratio of detected intensities  $I(\lambda_1)$  and  $I(\lambda_2)$  at wavelengths  $\lambda_1$ ,

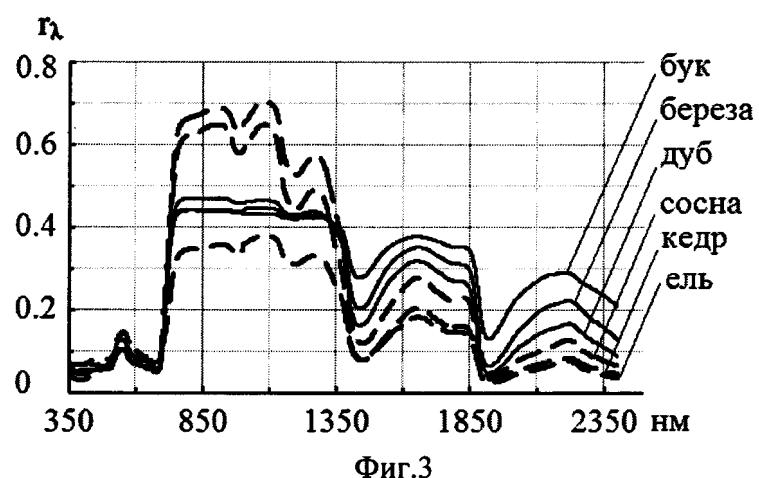
$\lambda_2$ . Coniferous or deciduous areas are considered to comply with the following ratios:  $R(\lambda_1, \lambda_2) \geq R_{tr}(\lambda_1, \lambda_2)$  for deciduous;  $R(\lambda_1, \lambda_2) < R_{tr}(\lambda_1, \lambda_2)$  for coniferous species; where  $\lambda_1 = 355$  nm,  $\lambda_2 = 2,100$  nm;  $R_{tr}(\lambda_1, \lambda_2)$  is a threshold value selected as a result of preliminary analysis of reflection spectra of coniferous and deciduous trees in the given region.

EFFECT: method makes it possible to monitor irrespective of the time of day and in a wide range of atmospheric conditions at flight altitudes of the aircraft carrier to units of km.

1 cl, 5 dwg

RU 2719731 C1

RU 2719731 C1



Фиг.3

R U 2 7 1 9 7 3 1 C 1  
R U 2 7 1 9 7 3 1

R U 2 7 1 9 7 3 1 C 1

## Область техники

Изобретение относится к лесному хозяйству и может найти применение при дистанционном мониторинге лесных массивов на обширных территориях.

### Уровень техники

Наиболее перспективным направлением контроля обширных лесных массивов Российской Федерации является дистанционный аэрокосмический мониторинг [1].

В настоящее время в большинстве случаев для мониторинга лесов используют различных вегетационные индексы, основанные на измерениях пассивных мульти- или гиперспектральных датчиков в видимом и ближнем (до 1 мкм) спектральных диапазонах [1-8].

Одной из основных задач, решаемых методами аэрокосмического мониторинга в лесном хозяйстве, является определение породного состава лесов.

Известны способы, которые позволяют определять породный состав лесов [4, 6-8].

Недостатками этих способов являются:

- невозможность работы в сумерках и в темное время суток и сильная зависимость от оптического состояния земной атмосферы;
- сложность их реализации (необходимость наземных измерений [4, 7] и использование спектрометров высокого спектрального разрешения);
- использование для мониторинга датчиков в видимом и ближнем (до 1 мкм) спектральных диапазонах, для которых спектральные характеристики пород деревьев могут сильно различаться для разных регионов;

Для примера на Фиг. 1 для видимого и ближнего (до 1 мкм) спектральных диапазонов приведены спектры отражения некоторых лиственных и хвойных деревьев из [7] (Фиг. 1а) и спектры отражения некоторых лиственных и хвойных деревьев из спектральных библиотек [9, 10] (Фиг. 1б).

На Фиг. 1 по вертикальной оси отложены значения коэффициента отражения (в относительных единицах), а по горизонтальной оси - длина волны излучения.

Сравнение Фиг. 1а и Фиг. 1б показывает, что спектральные характеристики лиственных и хвойных деревьев в видимом и ближнем (до 1 мкм) спектральных диапазонах сильно варьируются (данные из [7] и [9, 10] получены для разных регионов).

Недостатки способов [4, 6-8] обусловлены сложностью заявленной задачи - определение породного состава лесов.

Предлагаемый более простой способ предназначен для решения более простой задачи - определение областей лесных массивов с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев.

Наиболее близким к предлагаемому способу является способ мониторинга лесов [3], включающий дистанционную регистрацию полей яркости лесной растительности аэрокосмическими средствами путем зондирования много- или гиперспектральным датчиком с получением цифровых изображений, на основе которых формируют поля значений вегетационных индексов, отличающийся тем, что дополнительно определяют значения удельных энергетических поверхностей рассеивания на основе зондирования леса радиолокационными средствами, поля значений вегетационных индексов и удельной энергетической поверхности рассеивания подвергают кластеризации с выделением относительно однородных групп, в пределах которых общая изменчивость значений меньше, чем в генеральной совокупности, определяют пересечения полученных кластеров в пространстве географических координат изображения, формируют векторные слои участков пересечений для последующего многолетнего мониторинга с определением искомых параметров леса в границах полученных пересечений кластеров.

Недостатками этого способа [3] для дистанционного определения состава насаждений является:

-- невозможность работы много- или гиперспектральных датчиков в сумерках и в темное время суток и сильная зависимость от оптического состояния земной атмосферы;

5 - сложность его реализации (использование много- или гиперспектральных датчиков и радиолокационных средств [3]);

- ориентация способа [3] на дистанционное зондирование с искусственного спутника земли (ИСЗ) (использование вегетационных индексов, основанных на измерениях в видимом и ближнем инфракрасных диапазонах, и исключение данных

10 ультрафиолетового диапазона, так как ультрафиолетовое излучение активно поглощается в озоновом слое земной атмосферы на высотах 16-22 км).

#### Раскрытие изобретения

Избежать этих недостатков можно тем, что, согласно дистанционному способу мониторинга лесов, включающему дистанционную регистрацию полей яркости лесной

15 растительности аэрокосмическими средствами путем зондирования, с авиационного носителя проводится лазерное зондирование на безопасных для зрения двух длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$  выбранных по экспериментальным данным в ультрафиолетовом (УФ) и ближнем инфракрасном (ИК) спектральных диапазонах, формируется информационный

20 индекс  $R(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}$  равный отношению регистрируемых интенсивностей  $I(\lambda_1)$  и  $I(\lambda_2)$

на этих длинах волн и о участках с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев судят по выполнению соотношений:

25  $R(\lambda_1, \lambda_2) \geq R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  для лиственных пород

(1)

$R(\lambda_1, \lambda_2) < R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  для хвойных пород

где:  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм;  $R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  - пороговое значения, выбранное в результате 30 предварительных исследований спектров отражения хвойных и лиственных пород деревьев в данном регионе.

Способ основан на анализе данных экспериментальных измерений спектров отражения хвойных и лиственных деревьев в широком спектральном интервале 350-2500 нм.

35 Перечень фигур

На Фиг. 1 показаны примеры спектров отражения лиственных и хвойных деревьев для видимого и ближнего (от 400 до 1000 нм) спектральных диапазонов, а - данные [7], б - данные [9, 10].

На Фиг. 2 схематично изображено устройство, реализующее предлагаемый способ.

40 На Фиг. 3 показаны примеры спектров отражения лиственных и хвойных деревьев в широком спектральном интервале 350 - 2500 нм [9, 10].

На Фиг. 4 показаны значения информационного параметра  $R(\lambda_1, \lambda_2)$  для  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм.

45 Осуществление изобретения

Устройство для реализации способа содержит (см. Фиг. 2) блок источников лазерного излучения 1, облучающий земную поверхность на двух длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$  в УФ (355 нм) и ближнем ИК (2100 нм) спектральных диапазонах, блок фотоприемников 2,

регистрирующий излучение отраженное от земной поверхности на двух длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$ ; блок обработки 3, который по данным измерений  $I(\lambda_1)$  и  $I(\lambda_2)$  проводит проверку выполнения соотношений (1).

Реализация способа устройством осуществляется следующим образом.

Блок источников лазерного излучения 1 облучает исследуемую земную поверхность 4 на двух длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$  в УФ (355 нм) и ближнем ИК (2100 нм) спектральных диапазонах (блок источников лазерного излучения 1 находится на авиационном носителе). Облучение земной поверхности осуществляют вертикально вниз (для 10 увеличения полосы обзора возможно сканирование поперек направления полета носителя). Фотоприемник 2 регистрирует излучение отраженное от земной поверхности на двух длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$ . Сигналы с фотоприемника 2 поступают в блок обработки 3, в который заранее введены пороговые соотношения (1) и значение порога  $R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$ . В блоке обработки по данным измерений  $I(\lambda_1)$  и  $I(\lambda_2)$  проводится проверка 15 выполнения соотношений (1) и определение участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев. При облете исследуемого района результатом работы блока 3 является массив данных о участках леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев (карта границ участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев).

Исходными данными для разработки способа лазерного определения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев в летнее время с авиационного носителя являются данные экспериментальных измерений спектров отражения хвойных и лиственных деревьев в широком спектральном интервале 350-2500 нм [9, 10].

На Фиг. 3 показаны примеры спектров отражения лиственных и хвойных деревьев 25 в широком спектральном интервале 350-2500 нм [9, 10].

Из рисунка видно, что спектры отражения разных лиственных и хвойных деревьев очень близки друг к другу в спектральном диапазоне 350-725 нм. В спектральном диапазоне 725-1350 нм спектры отражения в какой-то степени разделяются, но отделить хвойные породы от лиственных пород нельзя.

Гораздо лучше ситуация в спектральных диапазонах 1500-1800 нм и 2050-2300 нм. Хорошо видно, что в этих спектральных диапазонах спектры отражения лиственных пород деревьев отделены от спектров отражения хвойных пород деревьев.

Использование лазерного излучения для задач дистанционного зондирования параметров окружающей среды всегда связано с потенциальной опасностью для зрения 35 людей. Однако, эту опасность можно минимизировать.

Излучение в ближнем ИК спектральном диапазоне с длинами волн более 1400 нм и в УФ спектральном диапазоне с длинами волн 200-380 нм является более безопасным (оно воздействует на передние среды глаза), чем излучение в спектральном диапазоне 380-1400 нм (оно воздействует на сетчатку глаза) [11].

Длины волн зондирования  $\lambda_1, \lambda_2$  в предлагаемом способе были выбраны из двух условий: безопасности для зрения и разделения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев в летнее время (в зимнее время участки леса с лиственными породами хорошо выделяются по отсутствию лиственного покрова).

Математическое моделирование с использованием данных экспериментальных измерений спектров отражения хвойных и лиственных деревьев в широком спектральном интервале 350-2500 нм [9, 10] показывает, что перспективными вариантами длин волн  $\lambda_1, \lambda_2$  в являются:  $\lambda_t$  в УФ спектральном диапазоне 355 нм и  $\lambda_2$  в ближнем ИК 2100 нм.

На Фиг. 4 показаны значения информационного параметра  $R(\lambda_1, \lambda_2)$  для  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм для созданной (на основе данных [9, 10]) базы данных.

На Фиг. 4 по вертикальной оси отложены значения информационного индекса  $R$ , а по горизонтальной оси - номер  $n$  спектра отражения растений в созданной базе данных.

5 Номера 1-21 - лиственные деревья в летний период (1-3 - осина с разных участков, 4 - лох узколистый, 5 - орех, 6-10 - клен разных пород с разных участков, 11-14 - береза с разных участков, 15-17 - дуб разных пород с разных участков, 18-21 - бук разных пород с разных участков).

10 Номера 22-43 - хвойные деревья в летний период (22-27, 35-43 - сосна разных пород с разных участков, 28, 29 - ель разных пород, 30 - можжевельник, 31-34 - кедр с разных участков).

15 Из Фиг. 4 видно, что значения информационного параметра  $R(\lambda_1, \lambda_2)$  (для  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм) для лиственных пород деревьев больше, чем значения информационного параметра для хвойных пород деревьев.

Это позволяет использовать в летнее время информационный параметр  $R(\lambda_1, \lambda_2)$  (для  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм) для определения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев.

20 В качестве лазерных источников для  $\lambda_1=355$  нм может быть использован модуль третьей гармоники лазера на иттрий-алюминиевом гранате с легированием неодимом [12], а для  $\lambda_2=2100$  нм - оптический параметрический генератор на основе Nd:YLF лазера (фторида иттрия-лития с легированием неодимом) [13].

25 Использование лазерных источников излучения и ультрафиолетового спектрального диапазона для одного из них ограничивает применение заявляемого способа авиационным зондированием. Однако, преимуществом заявляемого способа является возможность работы в сумерках, в темное время суток и в широком диапазоне атмосферных условий (в том числе и под сплошной облачностью).

30 Процедура определения участков с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев состоит в проверке выполнения соотношений:

$R(\lambda_1, \lambda_2) \geq R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  для лиственных пород

$R(\lambda_1, \lambda_2) < R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  для хвойных пород

35 где  $\lambda_1 = 355$  нм,  $\lambda_2 = 2100$  нм;  $R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  - пороговое значения, выбранное в результате предварительных исследований спектров отражения хвойных и лиственных пород деревьев в данном регионе.

40 Предлагаемый способ дистанционного лазерного определения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев в летнее время с авиационного носителя основан на регистрации отраженного излучения на безопасных для зрения лазерных длин волн, использует информацию о коэффициентах отражения лесной растительности на длинах волн 355 и 2100 нм и позволяет проводить мониторинг независимо от времени суток и в широком диапазоне атмосферных условий при высотах полета авиационного носителя до единиц км.

#### Источники информации

45 1. Аэрокосмический мониторинг лесов / Исаев А.С., Сухих В.И., Калашников Е.Н. и др., М: Наука, 1991.239 с.

2. Патент RU 2406295. Способ экологического мониторинга лесов. Дата действия патента 27.04.2009. МПК A01G 23/00.

3. Патент RU 2489845. Способ мониторинга лесов. Дата действия патента 24.04.2012.

МПК A01G 23.

4. Патент RU 2428004. Способ определения состава насаждений. Дата действия патента 31.03.2010. МПК A01G 23, G01C 11/04.

5. Патент RU 2416192. Способ определения экологического состояния лесов. Дата действия патента 27.04.2009. МПК A01G 23/00.

6. Патент RU №2371910. Способ определения состава насаждений. Дата действия патента 21.05.2008. МПК A01G 23/00.

7. Давыдов В.Ф., Батырев Ю.П. Способ определения состава насаждений // Лесной вестник. 2010. №7. С. 48-52.

10. Егоров В.Д., Козодеров В.В. Распознавание лесной растительности по самолетным гиперспектральным данным // Исследование Земли из космоса. 2016. №3. С. 47-58.

9. Meerdink S.K., Hook S.J., Abbott E.A., Roberts D.A., ECOSTRESS Spectral Library - Version 1.0, <https://speclib.jpl.nasa.gov> (2018).

15. Clark, R.N., Swayze, G.A., Wise, R., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Kokaly, R.F. and Sutley, S.J., USGS Digital Spectral Library splib06a, U.S. Geological Survey, Data Series 231, 2007, <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06> (2007).

11. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий. ГОСТ 31581-2012. М.: Стандартинформ, 2013.

15. NL230 series, <https://ekspla.cn/product/nl230-series-nanosecond-q-switched-dpss-ndyag-lasers/>

20. 13. OPO SERIES. <http://www.nanointek.ru/assets/files/OPO.pdf>.

### (57) Формула изобретения

25. Дистанционный способ выделения участков леса с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев путем дистанционной регистрации полей яркости лесной растительности аэрокосмическими средствами зондирования, отличающийся тем, что используют лазерное зондирование с авиационного носителя на безопасных для зрения двух длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2$ , выбранных по экспериментальным данным в УФ и ближнем

30. ИК спектральных диапазонах, формируют информационный индекс  $R(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)}$ ,

равный отношению регистрируемых интенсивностей  $I(\lambda_1)$  и  $I(\lambda_2)$  на этих длинах волн и об участках с преобладанием хвойных или лиственных пород деревьев судят по выполнению соотношений:

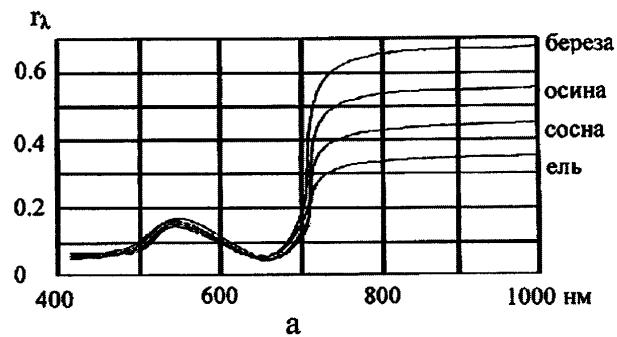
35.  $R(\lambda_1, \lambda_2) \geq R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  - для лиственных пород

(1)

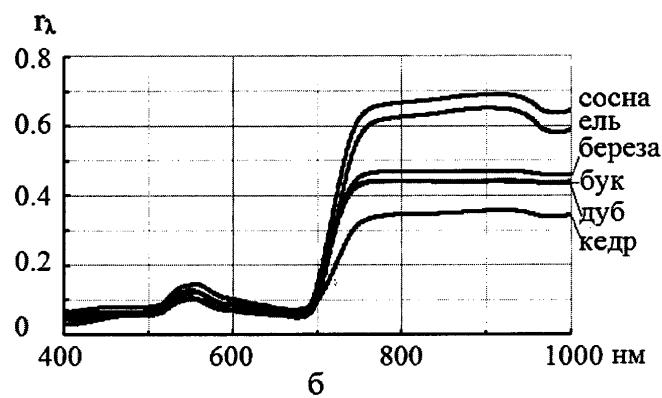
$R(\lambda_1, \lambda_2) < R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  - для хвойных пород

где  $\lambda_1=355$  нм,  $\lambda_2=2100$  нм;

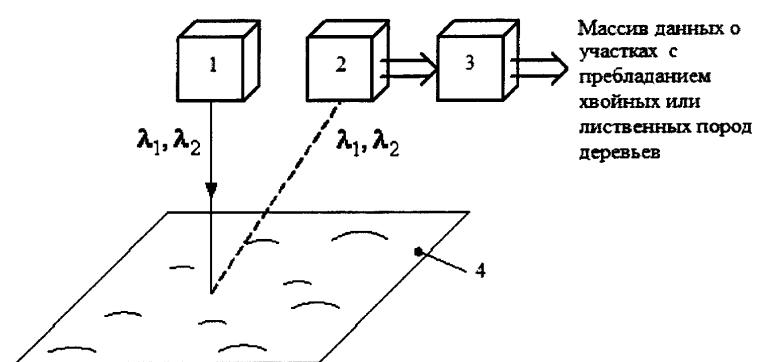
40.  $R_{\text{пор}}(\lambda_1, \lambda_2)$  - пороговое значение, выбранное в результате предварительных исследований спектров отражения хвойных и лиственных пород деревьев в данном регионе.



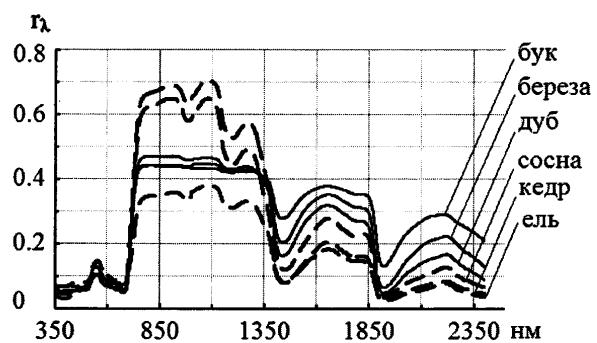
Фиг.1а



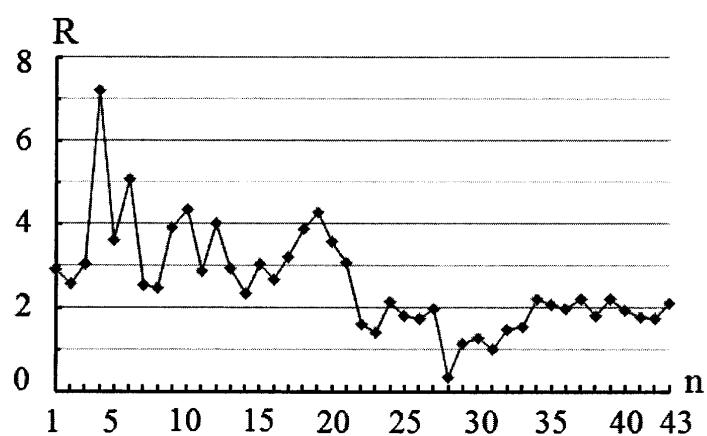
Фиг.1б



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4